تصميم المنشئات المعدنية

الطبعة الثالثة

دكتور أحمد شعبان

(M Sc. Sc. D.)

أستاذ الهندسة الإنشائية

أستاذ المنشئات والكبارى المعدنية

ورئيس قسم الهندسة الإنشائية

بجامعة الاسكندرية سابقا

الجزء الأول

١٩٩٢

حامد عبد القادر العوا

تصميم المنشآت المعدنية

الطبعة الثالثة

دكتور أحمد شعبان

(M Sc., Sc. D.)

أستاذ الهندسة الإنشائية
أستاذ المنشآت والكبارى المعدنية
ورئيس قسم الهندسة الإنشائية
بجامعة الاسكندرية سابقا

الجزء الأول

١٩٩٢

بسم الله الرحمن الرحيم

« وأنزلنا الحديد فيه بأس شديد ومنافع للناس »

صدق الله العظيم

الحمد لله الذي هداني لهذا وما كنت لأهتدي لولا أن هداني الله ، فألان لي الحديد ، وكان هذا الكتاب في المنشئات المعدنية ، الفولاذية منها خاصة . ولعلي قد أقدمت على هذا العمل ، بعد طول إحجام ، خشية ألا أوفيه حقه .

ويحوي هذا الكتاب تصميم عناصر وأجزاء المنشئات المعدنية وقد سرت فيه على نهج التصميم من مبادئه ، غير معتمد على جداول أو مخططات لا تساعد على الإحساس الهندسي المرهف . إضافة إلى أننا في منطقتنا العربية نضطر إلى تكوين الكثير من أجزاء المنشأ من عناصر نختارها مما هو متوافر في السوق المحلية .

وقد رأيت ألا أتعمق كثيرا في النواحي النظرية جاعلا الدراسة أكثر ميلا إلى الجانب التطبيقي . كما حوى الكتاب الكثير من الرسومات التوضيحية والأمثلة المقارنة المفصلة ، إتماما للفائدة المرجوة منه .

وإني إذ أقدم هذا الكتاب للدارسين في الجامعات العربية وللمهندسين الذين ربما قد نسوا ما درسوا من محتوياته ، لآمل أن يجدوا فيه بغيتهم .

والله أسأل أن ينفع به ، سائلا إياه العون على إتمام ما قد بدأت ، إنه سميع مجيب .

سبتمبر ١٩٨١ — احمد شعبان

مقدمة الطبعة الثانية

بسم الله الرحمن الرحيم

وبعد فقد لاقت فكرة تأليف كتاب تصميم المنشئات المعدنية باللغة العربية موافقة تامة من زملائي في هذه الجامعة مما حداني إلى مراجعة الطبعة الأولى مراجعة مستفيضة (على قدر الجهد البشرى) حاولت فيها تلافي ماظهر بالطبعة الأولى من أخطاء مطبعية وغير مطبعية سببتها السرعة التي تمت بها الطباعة .

وفي هذه الطبعة حاولت استكمال فصلين هامين : الحادى عشر وهو خاص بالمدادات التي هي جزء أساسي في المنشئات المعدنية، والثاني عشر وهو يعالج تصميم الكمرات المعرضة لعزم حني مزدوج وهو مايكمل الفصل السادس .

وبالله التوفيق

أحمد شعبان

الاسكندرية في ٢٠ صفر ١٤٠٤
٢٥ نوفمبر ١٩٨٣

مقدمة الطبعة الثالثة

بسم الله الرحمن الرحيم

تظهر هذه الطبعة فى ظل المواصفات المعدلة و التى صدرت عام ١٩٨٨ . و قد تضمنت هذه المواصفات بعض تغييرات طفيفة إلا أن أهم ما ورد بها إضافة بنود جديدة فيما يختص بتحقيق اتزان الكمرات جانبياً سواء أكانت شفة الضغط أم روح الكمرة .

و قد كان لازدياد الدقة فى حسابات التحنيب أن أمكن خفض قيمة معامل الأمان وبالتالى ازدياد الجهد المسموح فمثلاً عدّل جهد التحنيب المسموح به للصلب St 37 من ٧٠٠ إلى ٧٥٠ كجم / سم٢ عندما تكون $\frac{L}{r} = 100$

كما زيد الجهد المسموح به فى اللحام الزاوى من 0,4fpt إلى 0,5fpt

و يؤسفنى أنى لم أشارك فى تعديل المواصفات لوجودى خارج البلاد . و على العموم فإنى لازلت عند رأيى فى أنه لم يحن الأوان بعد لخفض معامل الأمان حيث أن جزءاً لا بأس به من هذا المعامل خاص بأعمال التنفيذ .

و بذلك لم أحدث تغييراً فى قيم الجهود المسموح بها عن الطبعة السابقة لهذا الكتاب .

أما إذا رأى المصمم أن يسير مع معامل الأمان الجديد فإن طريقة الحساب لا تتغير .

هذا و قد زيد فى هذه الطبعة الفصل الثالث عشر و هو خاص بتصميم الاطارات المعدنية .

سبتمبر ١٩٩٢ أحمد شعبان

الاهداء

إلى أم المهندسين ، زوجتى التى ساعد إصرارها على ظهور هذا الكتاب

وإلى اولادنا المهندسين الدكاترة عادل وليلى ونبيل وفايقة الذين طالما تمنوه ، ولعل ظهوره يسعدهم

الفصل الأول

المعادن في الإنشاء

الحديد أكثر المعادن استخداماً في المنشآت ، وقد استخدم الألمنيوم والمغنسيوم قديماً في بناء هياكل الطائرات ، وذلك لما يتمتعان به من قلة في الكثافة . واستخدام الألمنيوم في الطائرات ـ ولا سيما الثقيلة منها ـ مقصور الآن على كسوة الهيكل من الخارج .

وقد بدئ من عهد قريب في إنشاء الجسور من الألمنيوم تخفيفاً لوزنها الذاتي حيث تبلغ كثافة الألمنيوم نحو ثلث كثافة الفولاذ (٢,٧٥ / ٧,٨٥) .

ولا يستخدم الحديد أو الألمنيوم صافياً لما هما عليه من شدة الليونة ولذلك تضاف إلى كل منهما عناصر تصلح من هذه النقيصة : فالفولاذ سبيكة من الحديد والكربون متحدان بنسب متفاوتة ، وقد تضاف إليهما عناصر أخرى تضفي على الفولاذ خواص أخرى غير القوة والصلابة . ويحتوي الألمنيوم المستخدم في الإنشاء على عناصر أخرى مثل المغنسيوم والمنجنيز والسيلكون والنحاس .

صناعة الحديد والفولاذ

يوجد الحديد في الطبيعة في خامات تحتوي على ما بين ٣٥٪ و٤٠٪ من

معدن الحديد . ومن هذه الخامات :

أكسيد الحديدوز (Hematite — Fe_2O_3) .

أكسيد الحديديك (Magnetite — Fe_3O_4) وهو أغناها في الحديد .

أكسيد الحديد المائي (Limonite — $Fe_2O_3.3H_2O$) وهو أفقرها في الحديد .

كربونات الحديدوز (Siderite — F_eCO_3) .

كبريتور الحديد (Pyrite — F_eS_2) .

وتسحق الخامات المستخرجة من المناجم ثم تسخن في أفران خاصة وتعد على شكل قوالب ، كما وأن عملية التسخين تحول الكربونات إلى أكسيد الحديدوز :

$$2FeCO_3 + O = Fe_2O_3 + 2CO_2$$

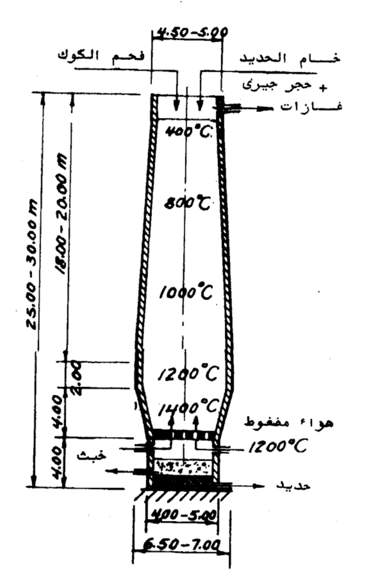
كما يتحول كبريتور الحديد إلى أكسيد الحديدوز ويتصاعد غاز ثاني أكسيد الكبريت الذي يستخدم في إنتاج حامض الكبريتيك :

$$2FeS_2 + 11\,O = Fe_2O_3 + 4SO_2$$

وتمر صناعة الفولاذ خلال المراحل التالية ،

المرحلة الأولى ، إستخلاص الحديد من خاماته .

وذلك باستخدام الفرن العالي أو الفرن اللافح (Blast Furnace) (شكل ١ -١) ويغذى الفرن العالي من أعلاه بالمواد التي تستخدم في إنتاج الفولاذ وهي الخام المجهز وفحم الكوك والحجر الجيري وذلك في طبقات متناوبة وبكميات تتم معايرتها . ويدفع هواء ساخن بشدة قرب القاع في نحو ١٢٠٠° م فيشتعل الفحم وتسخن الخامات ويختزل أكسيد الحديد إلى الحديد ويتصاعد أول أكسيد الكربون الذي يشتعل بدوره مساعداً في عملية التسخين ، وبفعل الحرارة الشديدة يكون الحديد في حالة سيولة ، ولمعظم



شكل (١ ـ ١)-رسم تخطيطي للفرن العالي

كثافته يترسب في القاع في الوقت الذي ينصهر فيه الحجر الجيري ويطفو على السطح حاملاً معه ما قد يحوي الخام من شوائب ويسمى الخبث *(Slag)* . ويستخرج الحديد المنصهر من أسفل الفرن على دفعات ، وقد يصب في قوالب أو ينقل في دلاء لتصنيعه ، ويطلق عليه اسم الحديد الخام *(Pig iron)* وتبلغ كثافته ٧,٣٠ طن/ م٣ ويحتوي على ما بين ٣٪ و٤٪ من الكربون الحر ، ولا

ليونة له . أما الخبث فيسحب ويكسر حيث يستعمل في الأغراض التي يستخدم فيها الزلط ، كما يستعمل في إنتاج الأسمنت الحديدي *(Blast furnace cement)* .

المرحلة الثانية ، تنقية المعدن

وفيها ينقى الحديد الخام مما به من شوائب ضارة مثل الكبريت أو غير مرغوب فيها مثل الفسفور كما يزال ما به من كربون حر ثم تضاف إليه العناصر التي تعطي الفولاذ خصائص معينة . وتستخدم لذلك إحدى العمليات الآتية :

أولاً ـ طريقة المحول *(Converter)* وتعرف بطريقة توماس / بسمر *(Thomas-Bessemer Process)*

وهي أسهل الطرق وأسرعها لإنتاج الحديد وتستغرق العملية ما بين ١٥ و ٢٠ دقيقة ولا تتطلب وقوداً إذا ما نقل الحديد الخام من الفرن العالي إلى المحول مباشرة وهو في حالة انصهار ، إلاّ أنه يعيبها انحباس فقاقيع الهواء داخل المعدن .

والمحول عبارة عن وعاء من الفولاذ شكله مخروطي مبطن من الداخل بالطوب الحراري الملائم لنوع الخلطة وله فوهة واسعة ، وقد يكون محوره أفقياً أو رأسياً أو مائلاً ، ويغذي المحول بكمية من الحديد الخام المنصهر تزن نحو ٢٠ طناً بينما يدفع من قاعه هواء بارد يمر خلال الكتلة فيحرق ما بالهواء من أكسجين نسبة كبيرة مما بالمعدن من شوائب بما فيها الكربون محدثاً لهباً عظيماً عند الفوهة وبذلك يستمر المعدن منصهراً ، وتسمى هذه الطريقة بالحامضية .

أما إذا كان بالحديد الخام نسبة كبيرة من الكبريت والفسفور فإنه يضاف إليه في المحول مادة الجير أو الكلس *(Lime)* قبل دفع الهواء ويمتص الجير الكثير من الكبريت والفسفور ويطفو على هيئة خبث وتسمى هذه الطريقة طريقة توماس أو طريقة بسمر القاعدية .

وبعد إتمام عملية الاحتراق يضاف الكربون إلى المعدن بالنسبة المطلوبة

ويكون ذلك على هيئة المنجنيز الحديدي (*Ferro Manganese*) الذي يحتوي على الكربون والمنجنيز والحديد ويكون ذلك في المحول أو في الدلاء التي ينقل إليها الفولاذ إذا كان الإنتاج بالطريقة الحامضية بينما تكون الإضافة في الدلاء في الطريقة القاعدية .

ثانياً ـ طريقة بيت الفرن المفتوح (*Open-hearth process*)

وتسمى أحياناً طريقة سيمنس ـ مارتن (*Siemens-Martin*) وفيها يغذى فرن ضحل بخليط من الحديد الخام والحديد الخردة (*Scrap iron*) وتصهر هذه المواد بواسطة الغازات المتولدة من الفرن العالي وعندئذ تتأكسد الشوائب وتختلط بالخبث ، كما يحترق الكربون. وقد يضاف خام أكسيد الحديدوز (Fe_2O_3) الذي يساعد ما يحتويه من أكسجين على سرعة التفاعل ، وهذه هي الطريقة الحامضية ، فاذا احتوى الخام على الكثير من الكبريت أو الفسفور أضيف إلى الخليط مادة الجير وهذه هي الطريقة القاعدية .

ونظراً لصهر المواد في هذا الفرن فإن العملية تستغرق ما بين ٦ ساعات إلى ١٠ ساعات ولكن الخلطة قد تتجاوز ٨٠ طناً ، ونظراً لطول فترة العملية فإنه يمكن التحكم في الخلطة ولذلك يعتبر الفولاذ المنتج بهذه الطريقة أجود من ذلك المنتج بطريقة المحول .

ثالثاً ـ طريقة الفرن الكهربي (*Electric Furnace Process*)

في هذه الطريقة تستخدم الطاقة الكهربية لإحداث الحرارة اللازمة لصهر المعدن ويستخدم هنا الفولاذ الخردة ولا تتجاوز كميته ٢٥ طناً . وهذه الطريقة كثيرة التكلفة وتستخدم أساساً في إنتاج فولاذ ذي مواصفات خاصة . وقد يغذى الفرن أيضاً بالفولاذ المنتج بطريقة المحول أو بطريقة الفرن المفتوح ، وهذه العملية قاعدية وبذلك يمكن التحكم في نسب الفسفور والكبريت .

المرحلة الثالثة ، التصنيع

في كل من الطرق الثلاث يصب الفولاذ المعالج في دلاء كبيرة ومنها يصب في قوالب خاصة مبطنة حتى يتصلب وتسمى هذه القطع *(Ingots)* ويتراوح وزن الواحدة بين ٨ و ١٥ طناً . وعند استخراج هذه القطع « التماسيح » يكون داخلها لا زال سائلاً فتحفظ في أفران خاصة حتى يتم تصلبها وتكون درجة حرارتها بين ١٢٠٠ و ١٢٥٠° م وعندئذٍ تكون صالحة للتصنيع .

تؤخذ القطع بعد ذلك إلى عنبر الدرفلة أو الدلفنة *(Rolling Mill)* حيث تفرد وتقطع قطعاً تناسب ما سوف ينتج منها من أجزاء فولاذية كما في الجدول (١ - ١) :

جدول (١ - ١)

مقاس القطعة مم	الأجزاء المنتجة
٥٠ × ٥٠ إلى ١٢٥ × ١٢٥	الأسلاك والأسياخ والزوايا الصغيرة
١٥٠ × ١٥٠ إلى ٣٠٠ × ٣٠٠	القطاعات الإنشائية
٥٠ إلى ٢٢٠ × ٦٠٠ إلى ١٥٠٠	الألواح والصفائح

العناصر الداخلة في تركيب الفولاذ

الكربون *(Carbon)* هو أهم العناصر التي تدخل في تركيب الفولاذ ، فلما كان الحديد الخالص مادة طرية *(Soft)* وكربيد الحديد مادة شديدة الصلابة ولكنها قصفة *(Brittle)* فهي بذلك تعطي الفولاذ قوة *(Strength)* بينما تضعف من مطاطيته *(Ductility)* .

وعندما يكون الكربون هو العنصر الأساسي في تركيب الفولاذ فإنه يسمى الفولاذ الكربوني *(Carbon steel)* .

المنجنيز *(Manganese)* يزيد من القوة القصوى ومن قوة الخضوع ولكنه يقلل من المطاطية ، كما يزيد من مقاومة الفولاذ للصدأ .

الموليبدنم *(Molybdenum)* يزيد من قوة الخضوع كما يرفع من تصلب الفولاذ ومن مقاومته للبري وكذلك مقاومته للصدأ .

الفانيديم *(Vanedium)* يزيد من تصلد الفولاذ *(Hardness)* ومن مقاومته للبري عندما يضاف بنسبة تصل إلى ١٢, ٠ ٪ .

الكروم والنيكل *(Chromium and Nickel)* كل منهما يزيد من قوة الفولاذ كما يرفع من تصلده ومقاومته للبري وكذلك مقاومة الصدأ والعوامل الجوية وقد استخدم النيكل في إنتاج الفولاذ العالي المقاومة .

النحاس *(Copper)* يحسن من قوة الفولاذ ومن تصلده ومن مقاومته للصدأ وتضاعف ٢, ٠٪ منه من مقدرة الفولاذ على مقاومة الصدأ .

وتستخدم هذه العناصر الثلاثة في إنتاج الفولاذ الذي لا يصدأ *(Stainless steel)* .

الفسفور *(Phosphorus)* يزيد من القوة و التصلد ويقلل من المطاطية .

السيلكون *(Silicon)* يزيد من القوة والتصلد ويقلل من المطاطية وهذا العنصر يستخدم في إنتاج الفولاذ العالي المقاومة بدلاً من النيكل .

الكبريت *(Sulpher)* وهو مادة ضارة بالفولاذ ويجب ألا تتجاوز نسبته في الخلطة ٠٥, ٠٪ .

منتجات الحديد والفولاذ

١ ـ الحديد المسبوك *(Cast iron)*

والاسم الدارج له الحديد الزهر ويحضر بإعادة صهر الحديد الخام المستخرج من الفرن العالي مع بعض الحديد الخردة ثم صبه في قوالب . ويحتوي الحديد الناتج على نحو ٣٪ من الكربون الذي يكون على شكل بلورات حرة ، أما حبيبات الحديد فهي غليظة .

والحديد المسبوك قصيف لا يتحمل الصدمات وهو ضعيف في الشد ولكن مقاومته للضغط لا بأس بها وتبلغ كثافته ٧, ٢٥ طن / م٣ وينصهر في

درجة ١٢٠٠° م وهو غير قابل للطرق وتشغيله يكون بصبه في قوالب تشكل حسب الطلب ومن هنا جاءت التسمية حيث تسمى عملية الصب « السباكة » . ويقتضي لحام الحديد المسبوك احتياطاً فإنه إذا سخن وترك ليبرد ، يتصدع .

وقد استخدم الحديد الزهر قديماً في الأعمدة الزخرفية وفي العقود التي لا تتعرض لجهود شد كما استخدم في كراسي الكمرات التي لا يزال يستخدم فيها ، واستخدامه في المنشآت الآن قاصر على الأجزاء المعمارية .

٢ ـ الحديد المطاوع *(Wrought iron)*

هو أول ما أنتج من الحديد لاستعماله في المنشآت ، وظل كذلك حتى نحو عام ١٩٣٠.ويحضر بصهر الحديد الخام في أفران قلابة لحرق ما به من كربون وشوائب ، بحيث لا يحتوي الناتج على أكثر من١٢, ٠٪ من الكربون وهو بذلك مرن شديد المطاطية .وينتج الحديد المطاوع بطريقة الدلفنة وتكوينه ليفي وقوته في اتجاه الدلفنة أي في اتجاه الألياف كبيرة ولكنه أضعف في الاتجاه المتعامد .

والحديد المطاوع قابل للحام كما أنه مادة مغناطيسية وتصنع منه الآن السلاسل *(Chains)* والمواسير *(Pipes)* وألواح المراجل وأنابيبها *(Boiler Tubes)* كما تعمل منه بعض الألواح المسطحة والمموجة .

٣ ـ الفولاذ الإنشائي *(Structural steel)*

وقد كان يسمى من قبل الصلب الطري *(Mild steel)* تمييزاً له من الصلب القاسي أو الناشف *(Hard steel)* الذي يستخدم في إنتاج الآلات القاطعة ويحتوي الفولاذ الإنشائي على ما بين ١٢ , ٠ ٪ و٣٠, ٠٪ من الكربون وتتوقف قوته على نسبة ما يحتويه من كربون فكلما زادت نسبة الكربون ازدادت القوة ولكن تنقص المطاطية . وينتج الفولاذ الإنشائي بطريقة الدلفنة ، كما

يمكن طرقه وسبكه ولحامه .

ومن الفولاذ الإنشائي صنف عالي القوة *(High-tension steel)* ويطلق عليه أيضاً اسم الصلب السبيكي *(Low-Alloy steel)* ويستعاض فيه عن جزء من الكربون بإضافة عنصر آخر . وفيما مضى أضيف النيكل بنسبة تتراوح بين ١٪ و٣,٥٪ أما الآن فيضاف السليكون بنسبة تتراوح بين ٠,٨٪ و١,٢٪ بينما تقل نسبة الكربون إلى ٠,٢٠٪ .

ويبين الجدول (١ - ٢) أصناف الفولاذ الإنشائي وكيف تتوقف قوتها على محتواها من الكربون ، وهذا الجدول مأخوذ عن المواصفات المصرية .

ويلاحظ أن هناك فولاذاً صنف ٣٤ لم يحدد تركيبه الكيماوي ويطلق عليه اسم الفولاذ التجاري ولا يسمح باستعماله في المنشآت الدائمة .

٤ - الفولاذ المطروق *(Forged steel)*

ينتج من فولاذ عالي القوة *(St 55)* بعد استخراجه من الفرن المفتوح ويتم تشكيل الأجزاء المطلوبة بعمليات متناوبة من التسخين والطرق وتستخدم في ذلك المطارق الإيدروليكية . وتصنع من هذا الفولاذ مختلف المحاور وكذلك محاور الإدارة والعجلات للقطارات وغيرها وكذلك دلافين الكراسي للجسور الثقيلة .

٥ - الفولاذ المسبوك *(Cast steel)*

وينتج من الفولاذ العالي القوة ، وتشكل الأجزاء المصنعة منه عن طريق صب الفولاذ المنصهر في قوالب . وتقتضي عملية الصب عناية كبيرة حتى لا تحدث في المسبوكات فقاقيع هواء أو تصدعات بسبب الانكماش أثناء عملية البرودة .

وتحتاج بعض المسبوكات معالجة حرارية للتخلص من الجهود المتخلفة

جدول رقم (١-٢)

أصناف الفولاذ واستعمالاتها وتركيبها الكيماوي وخواصها الميكانيكية .

صنف الفولاذ			طريقة الصناعة		التركيب الكيماوي للصبة				التركيب الكيماوي للفولاذ المشكل				جهد الشد الأقصى كجم / مم²	الجهد الأدنى للخضوع			النسبة المئوية الدنيا للاستطالة
للاستعمال العادي (١)	للاستعمال الأهم (٢)	للأغراض الخاصة (٣)	طريقة الإنتاج	طريقة الصب	كربون	فوسفور	كبريت	نتروجين	كربون	فوسفور		نتروجين		سمك حتى ١٦	سمك ١٧ - ٤٠	سمك > ٤٠	
٣٣			ت لوم	–	–	غير محدد			–	–	–	–	٣٣ - ٥٠	٢١	٢١	٢٠	١٨
٣٤			ت لوم	ف لو هـ	٠,١٧	٠,٠٨	٠,٠٥	–	٠,٣٩	٠,١٠	٠,٦٣	–					
	٢/٣٤		م لوص	ف لو هـ	٠,١٧	٠,٠٥	٠,٠٥	٠,٠١	٠,٢١	٠,١٠	٠,٦٣	٠,٠١١	٣٤ - ٤٢	٢١	٢١	٢٠	٢٥
		٣/٣٤	م لوص	هـ جـ	٠,١٧	٠,٠٥	٠,٠٥	٠,٠١	٠,١٩	٠,٠٥٥	٠,٠٥٥	٠,٠١١					
٣٧			ت لوم	ف لو هـ	٠,٢٠	٠,٠٨	٠,٠٥	–	٠,٢٥	٠,١٠٠	٠,٠٦٣	–					
	٢/٣٧		م لوص	ف لو هـ	٠,٢٠	٠,٠٦	٠,٠٥		٠,٢٥	٠,٠٧٥	٠,٠٦٣	٠,٠١١	٣٧ - ٤٥	٢٤	٢٣	٢٢	٢٤
		٣/٣٧	م لوص	هـ جـ	٠,٢٠	٠,٠٥	٠,٠٥		٠,٢٢	٠,٠٥٥	٠,٠٥٥	٠,٠١١					
٤٢			ق لوم	ف لو هـ	٠,٢٥	٠,٠٨	٠,٠٥	–	٠,٣١	٠,١٠٠	٠,٠٦٣						
	٢/٤٢		م لوص	ف لو هـ	٠,٢٥	٠,٠٦	٠,٠٥		٠,٣١	٠,٠٧٥	٠,٠٦٣	٠,٠١١	٤٢ - ٥٠	٢٦	٢٥	٢٤	٢٠
		٣/٤٢	م لوص	هـ جـ	٠,٢٥	٠,٠٥	٠,٠٥		٠,٢٧	٠,٠٥٥	٠,٠٥٥	٠,٠١١					
٤٤			ق لوم	ف لو هـ	٠,٢٥	٠,٠٨	٠,٠٥	–	٠,٣١	٠,١٠٠	٠,٠٦٣	–					
	٢/٤٤		م لوص	ف لو هـ	٠,٢٥	٠,٠٦	٠,٠٥		٠,٣١	٠,٠٧٥	٠,٠٦٣	٠,٠١١	٤٤ - ٥٢	٢٨	٢٧	٢٦	٢٠
		٣/٤٤	م لوص	هـ جـ	٠,٢٥	٠,٠٥	٠,٠٥		٠,٢٧	٠,٠٥٥	٠,٠٥٥	٠,٠١١					
٥٠			ق لوم	هـ	٠,٣٠	٠,٠٨	٠,٠٥	–	٠,٣٥	٠,٠٨٨	٠,٠٥٥	–	٥٠ - ٦٠	٣٠	٢٩	٢٨	١٨
	٢/٥٠		م لوص	هـ	٠,٣٠	٠,٠٦	٠,٠٥		٠,٣٥	٠,٠٦٦	٠,٠٥٥	٠,٠١١					
		٣/٥٢	م لوص	هـ جـ	٠,٢٠	٠,٠٥	٠,٠٥		٠,٢٢	٠,٠٥٥	٠,٠٥٥	٠,٠١١	٥٢ - ٦٢	٣٦	٣٥	٣٤	٢٢

الرموز

ت : طريقة توماس
م : طريقة الفرن المفتوح
ص : طريقة المحول الخاص أو الفرن الكهربي
ف : فوار
هـ : هادئ
هـ . جـ : هادئ جداً

فولاذ (١) : للاستعمال العادي : في المنشآت المعرضة لأحمال ستاتيكية .

فولاذ (٢) : للاستعمال الأكثر أهمية : في المنشآت المعرضة لأحمال ديناميكية أو لقوى صدم عالية أو لجهود متغيرة .

فولاذ (٣) : للأغراض الخاصة : في المنشآت المعرضة لظروف تتطلب استخدام فولاذ خاص .

(Residual stresses) الناشئة عن الانكماش وكذلك لتحسين التركيب الحبيبي للمعدن ومن بين طرق المعالجة الحرارية : التخمير *(Annealing)* والتصلد *(Hardening)* والمراجعة *(Tempering)* .

وتصنع من هذا الفولاذ كراسي الجسور ودلافينها والتروس وغيرها من المسبوكات التي تقتضي قوة عالية .

صناعة الألمنيوم

يستخرج الألمنيوم *(Aluminium)* من خاماته التي تنتشر في القشرة الأرضية وتغطي نحو ١٢ ٪ منها . ولا يوجد هذا المعدن حراً في الطبيعة بل يوجد متحداً مع عناصر أخرى أهمها الأكسجين مكوناً أكسيد الألمنيوم المعروف باسم الألومينا *(Alumina)* وهو مادة شديدة الثبات .

وأشهر خامات الألمنيوم البوكسيت الأحمر *(Bauxite)* يليه الكاولين الأبيض *(Kaolin)* ويحتوي على نحو ثلثي ما يحويه البوكسيت من المعدن ثم اللاتريت *(Laterite)* والانورثوسيت *(Anorthosite)*، كما يمكن الحصول على الألمنيوم بصعوبة من رماد الفحم الحجري .

طريقة استخلاص الألمنيوم

١ ـ يخلط البوكسيت مع الصودا الكاوية ويذوب الألومينا ـ تحت ضغط كبير ـ مكوناً ألومينات الصوديوم . ويترسب ما يوجد في الخام من أكاسيد الحديد وغيرها من الشوائب .

٢ ـ يبرد المحلول ثم يبذر فيه بلورات من إيدروكسيد الألمنيوم فتنمو البلورات ويزداد حجمها حتى تترسب .

٣ ـ تؤخذ البلورات إلى حمام تحليل كهربي بعد إذابتها في كريوليت* منصهر ويستخلص التيار الكهربي الألمنيوم من المحلول ويرسب في القاع .

* Cryolite هو فلورور الألمنيوم والصوديوم (Na_3AlF_{16}) وهو أبيض زجاجي .

٤ - يعبأ الألمنيوم في بوادق وتوضع في أفران بعد خلط المعدن بما يصلح من خواصه من عناصر أخرى مثل النحاس والمنجنيز والسليكون وكلها تزيد من قوة المعدن وصلابته ،والمغنسيوم الذي يزيد من مقاومة الألمنيوم للصدأ ولاسيا في مياه البحر .

٥ - تصب السبيكة المنصهرة في قوالب بحيث تنتج قطع يتراوح وزنها بين كيلوجرامين و ٢٠ طناً الأصغر منها لأغراض السباكة ولإنتاج الأنابيب والمقاطع والأكبر لإنتاج الألواح .

وتصنع من الألمنيوم هياكل الطائرات وكسوتها كما تنشأ منه أبراج نقل القوى الكهربية التي تبلغ من خفة الوزن ما يمكن من نقلها كاملة بالطائرات المروحية حيث تقام في الأماكن الصعبة ، كما تنشأ منه الجسور ، هذا بخلاف استعمالاته في الأغراض المعمارية .

طريقة إنتاج الألومينيوم

١ - البثق *(Extrusion)* حيث تدفع السبيكة في مكبس به فتحة بشكل مقطع الجزء المطلوب إنتاجه .

٢ - الدلفنة على الساخن .

٣ - تشكيل الألواح المدلفنة وهي ساخنة .

٤ - السباكة *(Casting)*

٥ - التشكيل على البارد للألواح التي لا يزيد سمكها على ٥ مم .

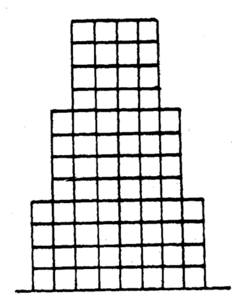
٦ - المعالجة الحرارية التي ترفع قوة المعدن فيما بين ٣٠ ٪ و ٥٠ ٪، ولكن ذلك يكون على حساب المطاطية .

استخدامات الفولاذ في المنشآت .

يمكن تقسيم الأغراض التي يستخدم فيها الفولاذ في المنشآت إلى ما يلي :

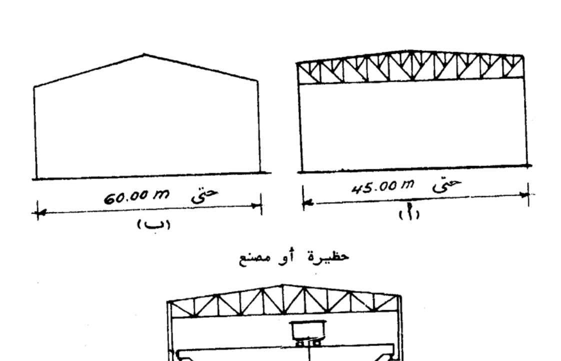
١ - المباني الهيكلية *(Skeleton Buildings)* المركبة من كمرات وأعمدة وتستعمل في :

- المباني السكنية والصناعية سواء أكانت من طابق واحد أم أكثر
- مباني المراجل البخارية الضخمة لمحطات توليد القوى الكهربية .
- المباني العالية *(High risers)* وتتكون من عشرات الطوابق (شكل ١ - ٢) .



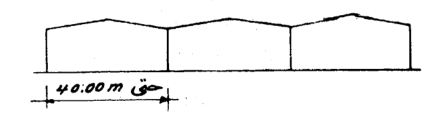
شكل (١ - ٢) - مبنى عال

الإطارات ذات الفتحات الكبيرة وتستخدم في المصانع والورش وحظائر السيارات وحظائر الطائرات *(Hangars)* أو صالات العرض *(Exhibition halls)* وصالات الرياضة (شكل ١ - ٣) .



حظيرة أو مصنع

(حـ) ورشة صناعية



(د) .مستودع أو مصنع

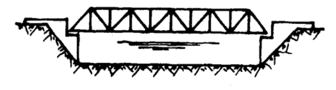
شكل (١ - ٣) - المباني الأطرية

- المظلات *(Sheds)* ولاسيما في محطات سكة الحديد .

- الاسقف الدائرية مثل القباب *(Domes)* وتلك المحمولة على كابلات *(Cable-supported roofs)* وتستعمل لصالات الرياضة خاصة .

٢ - المنشآت الخاضعة لأحمال متحركة :

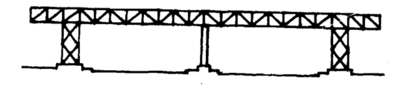
- الجسور : لسكة الحديد *(Railway bridges)* (شكل ١ - ٤) وللسيارات *(Road bridges)* (شكل ١ - ٥) وللمشاة *(Foot bridges)* ولحمل الأنابيب *(Pipes)* والسيور الناقلة في المصانع *(Conveyors)* (شكل ١ - ٦) . ومن الجسور ما هو ثابت *(Fixed)* ومنها ما هو متحرك *(Movable)* (شكل ١ - ٧) .



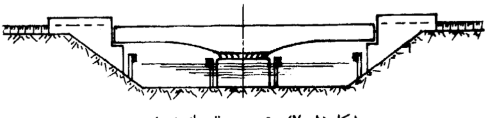
شكل (١ - ٤) - جسر لسكة الحديد



شكل (١ - ٥) -جسر طريق طويل



شكل (١ - ٦) -جسر للأنابيب أو للسير الناقل

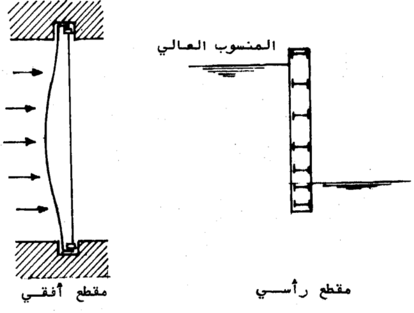


شكل (١ - ٧) -جسر متحرك دوار

- الرافعات (الأوناش) *(Cranes)* ونقصد منها هنا الأجزاء الإنشائية منها. والأوناش منها العلوية السيارة داخل المصانع *(Overhead cranes)* (شكل ١ - ٣حـ) ومنها العلوية السيارة على أعمدة خارج المباني ومنها السيارة على هيئة إطار يسير على قضبان ومنها الدوارة مثل المستخدمة في المرافيء وتلك التي تستخدم في مواقع الإنشاء .

٣ - الفولاذ في الأعمال المائية *(Hydraulic structures)*

— في أعمال الري : مثل البوابات *(Gates)* للقناطر *(Regulators)* (شكل ١ - ٨) وللأهوسة *(Locks)* .

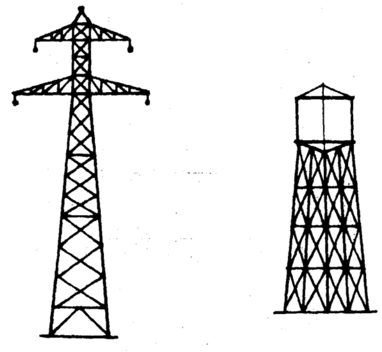


شكل (١ - ٨)-بوابة قنطرة

- في أعمال توليد الكهرباء : مثل الأنابيب الضخمة وحاملاتها التي تنقل المياه من المنسوب العالي إلى التربينات .

- في أعمال المرافيء : مثل الحوض الجاف العائم *(Floating dock)* وبوابات الحوض الجاف الأرضي *(Dry dock)* .

٤ - الأبراج *(Towers)* مثل أبراج المياه (شكل ١ -٩) وأبراج نقل القوى الكهربية *(Transmission lines)* (شكل ١ - ١٠)

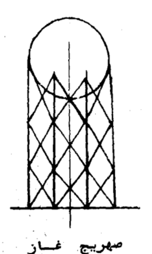


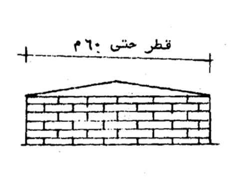
شكل (١ - ٩) - برج مياه

شكل (١ - ١٠) - برج كهرباء

٥ - الصواري *(Masts)* لأغراض الأذاعة والتلفزيون وتمتاز بعظم ارتفاعها الذي قد يصل إلى ٥٠٠ متر وتعتمد في اتزانها على شدادات مثبتة بالأرض .

٦ ـ الأوعية :





شكل (١ ـ ١١)

- خزانات المواد النفطية سواء بالمصافي أم بالمصانع
- خزانات غاز الاستصباح .
- صهاريج حفظ الغازات المسالة وهي محكمة لتعرضها لضغط داخلي كبير (شكل ١ ـ ١١)
- الصوامع ،لحفظ المواد الخام والمنتجات في المصانع ومنها القليلة القطر بالنسبة لارتفاعها وتسمى (Silo) ومنها القليلة الارتفاع وتسمى (Bin أو Bunker)

٧ ـ الفولاذ في وسائل النقل :

- البواخر بأنواعها كافة والغواصات .
- قطر سكة الحديد وعرباتها .

مميزات الفولاذ

١ ـ ذو قدرة عالية ، كما أن قدرته في الضغط تعادل قدرته في الشد ولا سيما في حالة مقاومة الانعطاف . ويلاحظ أن نسبة قدرة الشد إلى قدرة الضغط في الحديد الزهر $\frac{١}{٣}$ وفي الخرسانة $\frac{١}{٤}$ وفي المباني $\frac{١}{١٠}$

٢ ـ حد الخضوع في الفولاذ ذو قيمة عالية . ويتبع الفولاذ قانون هوك حتى حد الخضوع حيث يتناسب الجهد مع الانفعال .

٣ ـ الفولاذ مادة متجانسة كما يمكن التحكم في تكوينها الكيماوي أثناء إنتاجها وهذه ميزة لا تتمتع بها الخرسانة أو الخشب .

٤ ـ للفولاذ قابلية للسحب *(Ductility)* وتتراوح المطاطية فيه بين ٢٠ و ٢٥ ٪ وبذلك يحدث له تشوه كبير المقدار دون أن ينهار المنشأ وعلى هذا يمكن اكتشاف أخطاء التصميم أو الإنشاء ومعالجتها .

٥ ـ يمكن إجراء تعديلات في المنشآت الفولاذية أثناء الإنشاء أو بعده بسهولة ويسر ، دون حاجة إلى تكسير أو تحطيم ، وإنما فك أجزاء وإحلال غيرها مكانها .

٦ ـ يمكن إجراء تقوية لمنشأ قائم بإضافة قطاعات وبرشمتها أو لحامها .

٧ ـ يمكن فك منشأ بأكمله سواء أكان مبنى أو جسراً أم غير ذلك ونقله لتركيبه

في مكان آخر .

٨ - يمكن بيع أجزاء المنشأ المعدني المستغني عنه إما للاستعمال مرة أخرى وإما خردة .

٩ - السرعة في الإنشاء حيث يمكن توفير الوقت في ناحيتين :

آ - تصنّع أجزاء المنشآت في الورشة لتكون جاهزة للتركيب في الوقت الذي يجهز فيه الموقع وتصب الأساسات وقواعد الأعمدة لاستقبال الجزء المعدني .

ب - ليس هناك وقت للانتظار في أثناء التركيب كما يحدث عندما تتصلب الخرسانة مثلاً .

متاعب المنشأ الفولاذي

١ - الصدأ - ولا سيما قرب الشواطىء حيث تكثر الرطوبة وأملاح البحر . وإذا بدأ الفولاذ في الصدأ فإنه لا يتوقف . فإذا لم يعالج فإنه يقضي على القطاعات ولا سيما الرقيقة منها أو القليلة السمك ، وحتى السميكة فإن مقطعها ينقص بمقدار ما تأكسد من المعدن . هذا بالإضافة إلى ما يسببه الصدأ من انتفاخ ، إذ أن حجم الفولاذ يزداد بالصدأ إلى عشرة أمثاله مما يتسبب في انفتاح الأجزاء الموصولة أو التوائها .

ولمقاومة الصدأ يلزم طلاء أسطح الأجزاء المعرضة للجو ، ويجب أن يعتني بعملية الطلاء بحيث يكون سطح المعدن خالياً من الأتربة أو الزيت أو الشحم قبل البدء في الطلاء. وتجب صيانة المنشأ والكشف على الأجزاء المعرضة للجو - ومراشمتها (إزالة البوية القديمة) وإعادة طلائها إذا ما تبين أن الطلاء قد تقشر أو انتفخ . ويعاد الطلاء كل عدة سنوات .

٢ - النار - ليس للفولاذ قدرة على مقاومة الحريق فإذا سخن الفولاذ واحمر إلى

درجة ٥٠٠ مئوية نقصت قدرته إلى النصف ، فإذا وصلت درجة حرارته إلى ١٢٠٠ مئوية انهار تماما .

ويمكن أن تحاط الأجزاء المعدنية (الحاملة) في المباني بالخرسانة الخفيفة أو تكسى بالملاط ، بسمك لا يقل عن ٣ سم لحمايتها من النيران .

بياني الحمل والاستطالة .

التجربة الأساسية لشرح خواص الفولاذ هي اختبار الشد ، حيث تجرى على قضيب قطره ١٢ مم معلم عليه طول للقياس مقداره ١٠ سم *(Gage length)*

وتمر قطعة الاختبار خلال المراحل التالية ، وهي خواص يتمتع بها الفولاذ دون غيره من المعادن :

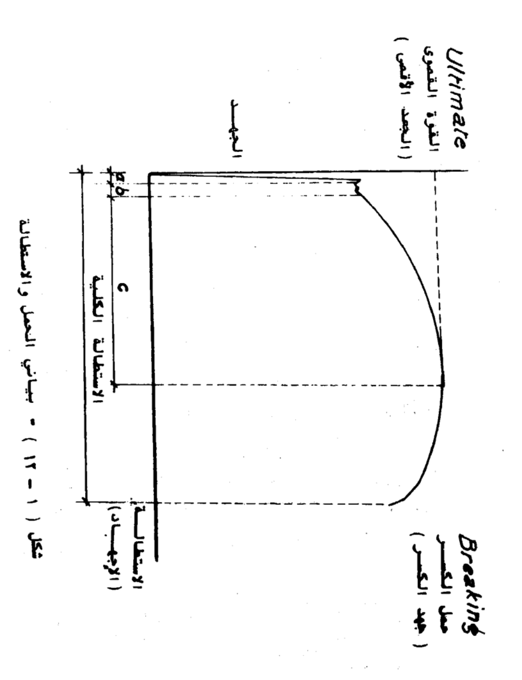
١ ـ مرحلة المرونة : حيث يبدأ المنحني على شكل مستقيم وهذا يعني تناسب الاستطالة مع الحمل ولما كان التغير في شكل قطعة الاختبار غير ملحوظ فإنه يمكن أن يقال إن الإجهاد يتناسب مع الجهد .

الجهد = الحمل ÷ مساحة القطع

$$Stress = \frac{Load}{Cross\text{-}sectional\ area}$$

الإجهاد = الاستطالة ÷ الطول الأصلي

$$Strain = \frac{Extension}{Gage\ length}$$



شكل (١ - ١٢) - بياني الحمل والاستطالة

(Elastic range or zone)	a = منطقة المرونة
(Plastic range or zone)	b = منطقة اللدونة
(Strain-hardening zone)	c = منطقة التقسية بالإجهاد

ووحدة الجهد ـ كيلو جرام / سم٢ أو طن / سم٢

وليس للإجهاد وحده لأنه سم / سم

ويطلق على النسبة بين الجهد والإجهاد معاير المرونة *(Modulus of elasticity) E* وهو واحد لكل أنواع الفولاذ ، ويؤخذ ٢١٠٠ طن / سم٢ ـ بينما هو للحديد المسبوك ١٠٠٠ طن / سم٢. وكبر مقدار المعاير *E* يدل على كبر مقاومة المادة للتشكل .

وإذا رفع الحمل عن قطعة الاختبار في هذه المرحلة عادت إلى شكلها الأصلي وهذا هو التعريف الطبيعي *(Physical)* للمرونة .

تنتهي هذه المرحلة عند نقطة سميت حد التناسب *(Limit of Proportionality)* .

٢ ـ مرحلة اللدونة : بزيادة الحمل تبدأ قطعة الاختبار في الاستطالة ولكن دون أن ترتفع قيمة الحمل وتسمى هذه المنطقة منطقة الخضوع أو نقطة الخضوع *(Yield point)* ويسمى الجهد عندها جهد الخضوع ـ وفي هذه المنطقة لا تعود قطعة الاختبار إلى شكلها الأصلي تماماً بعد رفع الحمل ، وإنما يتخلف معها بعض التشوه *(Deformation)* يطلق عليه *(Permanent set)* أي الركون المستديم وتسمى هذه المرحلة مرحلة اللدونة ، وتعرف بأنها المرحلة التي لا يعود بها الجسم إلى شكله الأصلي بعد رفع الحمل .

٣ ـ منطقة التقسية بالاجهاد ـ بزيادة الحمل تتعرض قطعة الاختبار لاستطالة أكبر منها في مرحلتي المرونة واللدونة ، ويبدأ المنحني في الانحناء حتى يصل الحمل إلى منتهاه . وفي هذه المرحلة يتخلف بعض التشوه أكثر من سابقتها ، كما أنه إذا أعيد التحميل مرة أخرى زادت قيمة ما تتحمله قطعة

الاختبار . وإذن بعد وصول قطعة الاختبار إلى هذه المرحلة تزداد قدرة تحملها *(Strength)* بينما تقل مطاطيتها *(Ductility)* .

وتسمى أعلا نقطة في المنحني القوة القصوى *(Ultimate strength)* أو الجهد الأقصى ، ويبدأ بعدها ظهور اختناق في قطعة الاختبار ويتناقص الحمل حتى تنكسر .

الإجهاد عند حد المرونة ٢, ٠٪

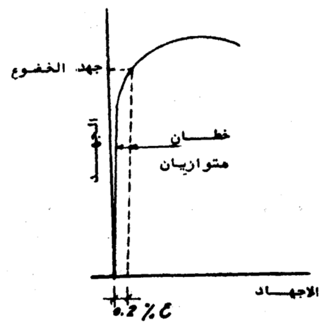
الإجهاد عند اللدونة ١ ـ ٢,٥٪

الإجهاد عند الجهد الأقصى نحو ٢٠٪

الإجهاد عند الكسر نحو ٢٥٪

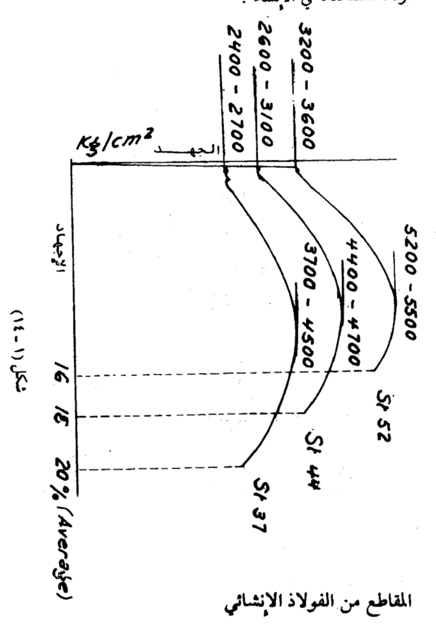
ويعرّف الفولاذ بقيمة الجهد الأقصى ، فيطلق عليه مثلاً فولاذ ٣٧ *(St 37)* وهذا يعني أن جهده الأقصى ٣٧ كيلوجراماً على الملليمتر المربع . وتحدد المواصفات كذلك جهد الخضوع كما تحدد حداً أدنى للمطاطية (نسبة الاستطالة) لقبول الفولاذ .

وتختلف قوة الفولاذ من بلد إلى آخر ولكن بياني الحمل والاستطالة يظل على الشكل نفسه . إلاّ أن هناك بعض أنواع من الفولاذ عالي الشد لا تظهر فيه نقطة الخضوع وعندئذ يفترض حدوث الخضوع فيه عند استطالة تبلغ ٢, ٠ ٪ من الطول الأصلي (شكل ١ ـ ١٣) .



شكل (١ - ١٣) بياني الجهد/الاجهاد للفولاذ القاسي

ويبين شكل (١ ـ ١٤) ثلاثة نماذج من بياني الجهد والإجهاد لأصناف الفولاذ المستخدمة في الإنشاء .

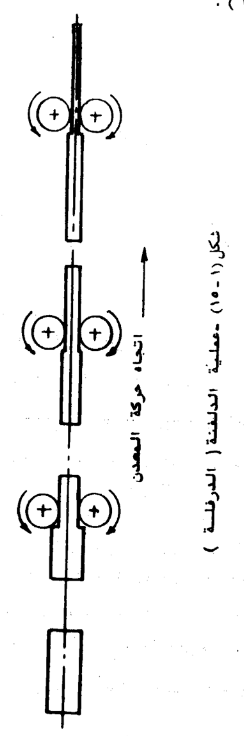


شكل (١ - ١٤)

المقاطع من الفولاذ الإنشائي

تنتج المقاطع المعدنية بطريقة الدرفلة ، من كتل يتناسب مقاسها مع ما ينتج من قطاعات . وتمرر الكتل خلال مجموعات من أزواج الدرافيل

(أسطوانات مصمتة) حتى تصل إلى السمك المطلوب أو الشكل المطلـوب (شكل ١ ـ ١٥) .



شكل (١ - ١٥) عملية الدلفنة (الدرفلـة)

ويُصدر كل مصنع جداول بها خصائص القطاعات المختلفة من مقاسات لازمة للرسم والتصنيع وبيانات لازمة للتصميم كالمساحة ومركز الثقل واتجاهات المحاور وعزوم القصور الذاتي (عزوم العطالة) وأنصاف أقطار القصور ، كما تشمل وزن المتر الطولي من القطاع .

وهذه هي المقاطع التي ينتج بها الفولاذ :

١ ـ الشرائط (Flats) ـ وهي ألواح محدودة العرض تعمل بسمك من ٣ إلى ١٠٠ مم وبعرض يصل إلى ١٥٠ مم وأطوالها تتراوح بين ٤,٠٠ و ٥,٠٠ أمتار متوقفة على سمك الشريط .

٢ ـ الألواح (الصفائح) (Plates) ـ ويتراوح سمكها بين ٣و٤٠ مم وبعرض يصل إلى ٢,١٠ متر أما الطول فيصل إلى ٧,٠٠ امتار . والألواح صنفان :

آ ـ الألواح المخدومة (Universal) ـ وهي التي يعتنى فيها بحرفيها الطوليين عند الدرفلة فلا تحتاج إلى تسوية .

ب ـ الألواح العادية ويقص حرفاها الطوليان بعد درفلتها .

٣ ـ الزاوية (Angle) ـ وهي أكثر القطاعات استخداماً ، وهي صنفان :

آ ـ الزاوية المتساوية (Equal angle) ـ وفيها يتساوى مقاس كل من رجليها وتبدأ من الزاوية ٢٠ × ٢٠ × ٣ ولكن المستخدمة في المنشآت تبدأ من ٤٥ × ٤٥ × ٥ وتصل إلى ٢٠٠ × ٢٠٠ × ١٦ . ويتساوى سمك كل من الرجلين ولكنه يختلف بمقاس الرجل الواحدة فمثلاً توجد الزاوية ٤٥ × ٤٥ × ٥ و ٤٥ × ٤٥ × ٦ و ٤٥ × ٤٥ × ٧ .

ب ـ الزاوية غير المتساوية (Unequal angle) ـ حيث يختلف طول كل من الرجلين وإن كانا يتساويان في السمك وهي صنفان :

ب١ ـ وفيها يكون مقاس إحدى الرجلين ١,٥ مقاس الأخرى وتبدأ من

الزاوية ٤٥ × ٣٠ × ٤ وتصل إلى الزاوية ١٥٠ × ١٠٠ × ١٠ .

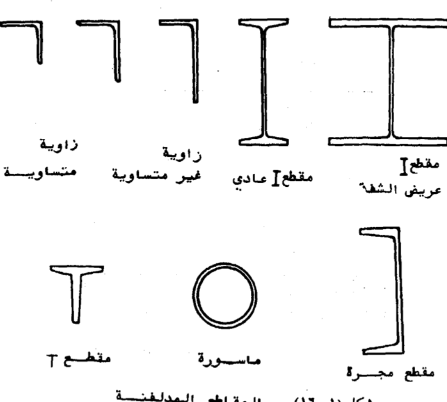
ب ٢ ـ وفيها يكون مقاس إحدى الرجلين ضعف مقاس الأخرى وتبدأ من الزاوية ٦٠ × ٣٠ × ٥ وتصل إلى الزاوية ٢٠٠ × ١٠٠ × ١٠ .

وفي كل من الصنفين يمكن أن يتعدد سمك الرجلين في المقاس الواحد . وتنتج الزوايا بأطوال ٦ أمتار و ٨ و ١٠ و ١٢ متراً وكلما كبرت الزاوية كلما كان الطول المنتجة به أكبر ، حتى تصل إلى ١٤ مترا .

٤ ـ الكمرة المجرة *(Channel)* ـ وتسمى بمقاس ارتفاعها إما بالسنتمتر أو بالمليمتر . وتبدأ من مجرة ٨٠ وتصل إلى مجرة ٤٠٠ .

٥ ـ الكمرة I وهي صنفان :

أ ـ الكمرة العادية *(Standard I-Beam ; S.I.B.)* وتبدأ من *S.I.B.100* حتى *S.I.B. 600* ـ أي يصل ارتفاع مقطعها إلى ٦٠ سم .



شكل (١ ـ ١٦) ـ المقاطع المدلفنة

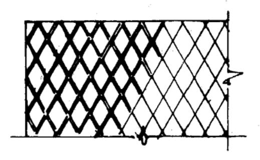
ب ـ الكمرة العريضة الشفة (Broad- Flange I-Beam; B.F.I) ـ وتبدأ من (BFI 100—BFI 1000) أي يصل ارتفاع مقطعها إلى متر . وتمتاز على العادية بأن عرض شفتها يساوي ارتفاعها حتى رقم ٣٠٠ ثم يزداد الارتفاع ، ولكن يستمر العرض ٣٠٠ مم .

وتنتج بأطوال لا تقل عن ٦,٠٠ امتار . ويزداد الطول كلما كبر القطاع حتى قد يصل إلى ٢٤,٠٠ متراً .

٦ ـ الكمرة T — وانتاجها محدود . ويستعاض عنها بشق الكمرة I سواء أكانت عادية أم عريضة الشفة في منتصف جذعها أو على أي ارتفاع يراد .

٧ ـ المواسير (Pipes)

٨ ـ ألواح الصاج البقلاوة (Checkered plates) ويحتوي سطحها العلوي على نتوءات مختلفة الأشكال اشهرها على شكل معينات ، ومنها جاء اسمها (شكل ١ ـ ١٧) .



شكل (١ ـ ١٧) — ألواح الصاج البقلاوة

وسمك اللوح بين ٦ و٨ ملليمترات وتنتج بعرض يصل إلى ١,٥٠ متر وبطول يصل إلى ٥,٠٠ أمتار . وتستعمل أغطية للفتحات في أرضيات المصانع كما تستعمل في درج السلم المعدني .

٩ ـ الألواح المموجة *(Corrugated sheets)* .

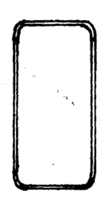
وتعمل هذه التموجات على زيادة عزم عطالة اللوح وتستعمل في تغطية الأسطح . (شكل ١ ـ ١٨) .

h b

$b = 2h$
$= 90 - 100\ mm$ $t = 0.75 - 2.0\ mm$

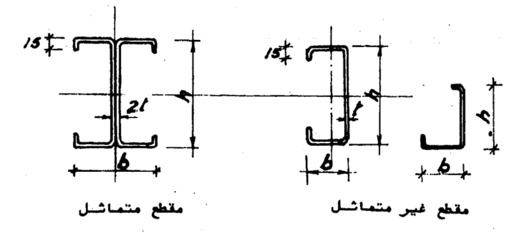
شكل (١ ـ ١٨) ـ الالواح المموجة

١٠ ـ المقاطع الأنبوبية *(Tubular sections)* ـ وهي مختلفة المقاسات والأسماك والأطوال :



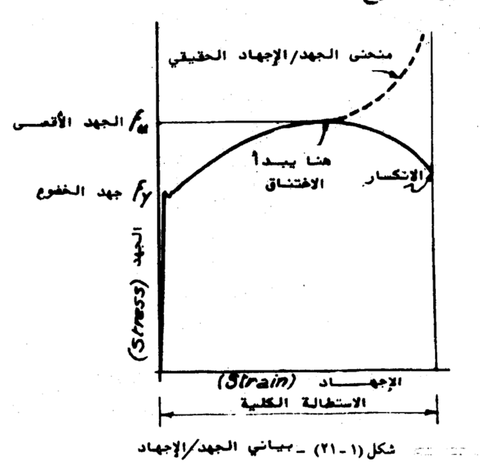
شكل (١ ـ ١٩) ـ مقطع انبوبي

١١ ـ المقاطع الرقيقة *(Light-gage sections)* ـ وتصنع من ألواح تثنى على البارد على حسب الشكل المطلوب :

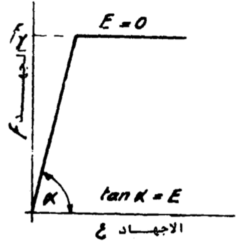


شكل (١ - ٢٠) - المقاطع الرقيقة

الجهد المسموح به



شكل (١ - ٢١) - بياني الجهد/الإجهاد



شكل (١-٢) - مرحلة المرونة واللدونة

سبق أن أوضحنا أن المرحلة الأولى لتحميل الفولاذ تتميز بعودة ما قد حدث به من تغير في الشكل بعد رفع الحمل . وأنه بوصول الجهد إلى حد الخضوع تبدأ المادة في الانسياب دون زيادة في قدرتها . من أجل ذلك كان حد الخضوع هو النقطة التي لا يجوز أن يصل إليها الجهد في أي جزء من المنشأ وإلا تعرض لإجهادات يكون من نتيجتها حدوث تغير كبير في شكل المنشأ . إذاً فما هو الجهد الذي يمكن تحميل المادة به بأمان ، أي بطريقة تجعل الإجهادات التي تحدث في أي جزء من المنشأ مأمونة من هنا جاء التعبير « الجهد المسموح به » . (*Permissible stress* أو *Allowable stress)* .

وتؤثر العوامل الآتية في تحديد الجهد المسموح به :

أولاً - الحسابات وتشمل :

١ - تقدير الأحمال والقوى .
٢ - تحديد الوضع الاستاتيكي .
٣ - إجراء الحسابات الاستاتيكية .

٤ ـ اختيار المقطع الملائم .

٥ ـ الجهود المضاعفة .

ثانياً ـ المادة المستخدمة وتتأثر بما يلي :

٦ ـ طريقة الصناعة .

٧ ـ طريقة التصنيع .

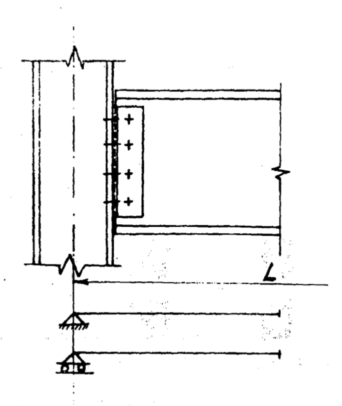
٨ ـ طريقة التركيب .

٩ ـ مقاومة عوامل البلَى .

ونوضح هنا باختصار أثر كل من هذه العوامل :

١ ـ تشمل الأحمالُ الوزنَ الذاتي للعضو المراد تصميمه وهذا طبعاً لا يكون معلوماً سلفاً ويخضع تقديره لعوامل كثيرة أهمها الخبرة السابقة . ثم وزن الأحمال الميتة التي يحملها العضو ، وهذه تقدر من واقع بيانات تحددها الواصفات . ثم الأحمال الحية التي يتعرض لها العضو وهذه لا يمكن التحقق من قيمتها بدقة كما أنها دائبة التغير سواء في قيمتها أم في وضعها دون رقابة حقيقية . أي أنه لا تعرف بدقة كافية قيمة الأحمال ولا كيفية توزيعها على العضو المعرض لها . وما يسري على الأحمال يسري على القوى التي قد تؤثر على العضو سواء أكانت أساسية أم ثانوية .

٢ ـ يقصد بتحديد الوضع الاستاتيكي الحالة التي عليها العضو وكيفية اتصاله بغيره وكيفية ارتكازه على غيره أو على ركائزه . وتفرض فروض كثيرة في هذا الشأن : فمثلاً يعتبر اتصال جائز بآخر أو بعمود ارتكازاً بسيطاً حتى لو كان الاتصال جانبياً بكامل عمق الجائز (شكل ١ ـ ٢٢) كما أن طول



شكل (١ - ٢٢) اتصال كمـرة بعمود

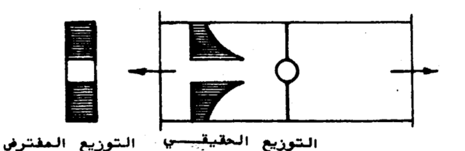
المجاز يؤخذ بين محوري الحاملين مهما كان عرضهما . وفي بعض المواد كالخرسانة المسلحة يفترض أنها تخضع لقانـون هوك أي أن الجهـد فيهـا يتناسب مع الإجهاد .

٣ - وتخضع الحسابات الاستاتيكية لفروض الوضع الاستاتيكي كما أن كثيراً منها به تقريبات كافتراض أن الحمل يؤثر في نقطـة وأن الحمـل يؤثـر في المستوى الذي يقع فيه محور المقطع . كما يفترض أن نقط تقابل الأعضاء في الكمرات الشبكية مفاصل ، وبذلك تحدث بالأعضاء قوى عمودية ، بينما هي تتعرض لعزوم حني .

٤ - وفي اختيار المقطع الملائم يفترض أن مستوى المقطع يظل مستـوياً بعـد حدوث الانحناء وبذلك تكون الجهود موزعة بانتظام . كما يفتـرض أن

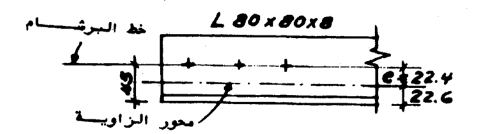
القوى المحورية تتوزع جهودها بالتساوي على القطاع . ويفترض أن الحمل يؤثر في محور العمود،وكثيراً ما يكون عند حافة المقطع .

٥ - وتتعرض المقاطع الفولاذية لجهود مضاعفة ناشئة عن وجود الثقوب ، حيث يفترض أن الجهد موزع بانتظام ، بينما هو يزداد بشدة فيما جاور الثقب (شكل ١ - ٢٣) .



شكل (١ - ٢٣)- توزيع الجهود في مقطع به ثقب

كما تحدث في المقاطع جهود إضافية ناشئة عن عدم انطباق خط البرشام مع خط القوة ، حيث تنتقل القوة ، مع خط محور الزاوية فتتعرض بذلك لعزم حني (شكل ١ - ٢٤) . كذلك تتركز الجهود في بعض النقط بسبب عدم انتظام المقطع أو لوجود خدش أو فدغ . كما تتعرض الأجزاء عند لحامها للتآكل ونقص في مقطعها .



شكل (١ - ٢٤) - الانزياح في الزوايا المبرشمة

كما تتعرض المقاطع أثناء درفلتها لجهود ناتجة من عملية الدرفلة وتتبقى بها بعد أن تبرد بسبب عدم انتظام البرودة وتسمى الجهود المتخلفة (*Residual stresses*)

٦ ـ وصناعة الفولاذ بالرغم من أنها تخضع لعمليات دقيقة وفحوص مخبرية مستمرة إلا أن نسبة المكونات ليست محددة تحديدا قاطعا وبالتالي فان قيمة الجهود كذلك غير محددة بل يعطى لها مجال ذو حدين أقصى وأدنى . كذلك لا تحتفظ المقاطع المدرفلة بمقاساتها نفسها طوال انتاجها بل يفترض حدوث فروق في المقاسات تسمى بالسماح (*Tolerence*) ويسمح بمقدار ± ٥٪ .

٧ ـ أما طريقة تشغيل الأجزاء الفولاذية فيتحكم فيها العامل الإنساني من جهة إجراء القياسات ووصل الأجزاء بعضها ببعض فيحدث ألا تنطبق ثقوب البرشام بعضها على بعض أو أن يتزحزح جزء من عضو عن موضعه المحدد ، كما قد يحدث بعض الانثناء أو الالتواء في أحد الأجزاء أثناء عمليات النقل أو التشكيل . وتصل الجهود في الأجزاء عند ثقبها أو خرمها إلى ما بعد حد المرونة .

٨ ـ ويحدث عند التركيب جذب وضغط للأجزاء لوصلها بسبب الاختلاف في المقاسات ، مسبباً جهوداً إضافية أو حدوث التواء أو انثناء .

٩ ـ وتتعرض المنشآت الفولاذية لعوامل التآكل بسبب الصدأ وبسبب البري والحك فتنقص مادتها .

لكل هذه العوامل نجد أن الوصول بالجهد إلى حد الخضوع يمثل مخاطرة ، ولذلك فإن الجهد الذي يُسمح بتشغيل الفولاذ عليه ويسمى جهد التشغيل أو الجهد المسموح به يكون نسبة من جهد الخضوع . وتسمى النسبة بين جهد الخضوع والجهد المسموح به معامل الأمان . (*Factor of Safety*)

$$F.S. = \frac{\text{yield stress}}{\text{Permissible stress}}$$

وكلما كان المصمم غير متأكد من تصميمه أو المادة التي يستخدمها كلما كبر معامل الأمان .

ويؤخذ معامل الأمان ١,٧ في المنشآت المعدنية عندما تكون الحسابات للأحمال الميتة والحية فقط ولكن إذا زادت الدقة في الحسابات بإدخال ضغط الريح وغيره من القوى الثانوية فإنه يمكن خفض معامل الأمان . وفي الفولاذ ٣٧ *(St37)* حيث جهد الخضوع ٢٤٠٠ كيلو جرام / سم٢ يؤخذ جهد الشد ١٤٠٠ كج / سم٢ في الحالة الأولى ويزداد بمقدار ١٥ ٪ في الحالة الثانية .

أما في حالة أعضاء الضغط حيث احتمالات التحنيب كثيرة ، كما أن الاقتراب من حد التحنيب يتسبب في انهيار العضو ، فإن معامل الأمان يزداد إلى ٣ .

ومعادلة أويلر *(Euler)* التالية هي الأساس في حساب جهد الضغط :

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_b^2} \qquad (a)$$

وفيها P_{cr} الحمل الحرج الذي يحدث عنده التحنيب وL_b طول التحنيب للعضو .

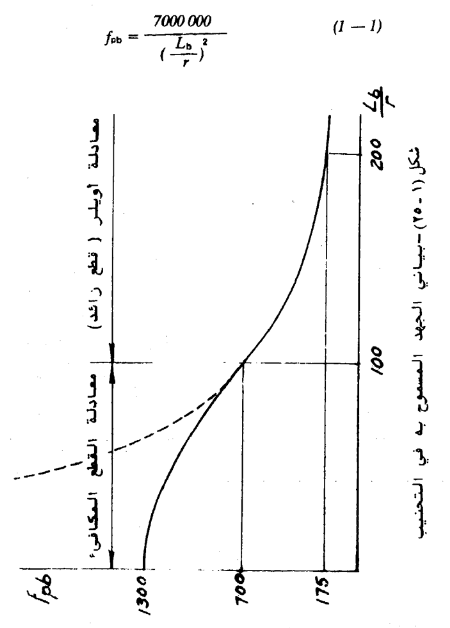
ومنها ـ

$$\frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 E \frac{I}{A}}{L_b^2} \qquad (b)$$

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r}\right)^2} \qquad (c)$$

وباستخدام معامل أمان مقداره نحو ٣ يكون الجهد المسموح به للضغط عند احتمال التحنيب:

$$f_{pb} = \frac{7000\,000}{\left(\frac{L_b}{r}\right)^2} \qquad (1-1)$$



شكل (١ - ٢٥) - بياني الجهد المسموح به في التجنيب

ونظراً لأن معادلة أويلر لا تسري إلاّ إذا كان عضو الضغط في مرحلة المرونة أي حتى حد التناسب (f_p) والذي يقل عن جهد الخضوع (f_y) ويبلغ نحو ٢٠٠٠ كم / سم² للفولاذ $St\,37$ فإنه بتعويض هذه القيمة في المعادلة (c) بعد تحويرها :

$$\frac{L_b}{r} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{f_p}} \qquad (1-2)$$

$$\cong 102 \qquad (d)$$

وقـد حددت المواصفـات المصرية $100 = \frac{L_b}{r}$ حداً أدنـى لنسبـة النحافة التي يمكن معها استخدام معادلة أويلر .

وعندما تقل نسبة النحافة عن ١٠٠ فإن تحديد الجهد المسموح به يتم عن طريق التجارب المخبرية . وتستخدم المواصفـات المصرية معادلـة القطـع المكافيء لذلك الغرض . وهي لفولاذ $St37$:

$$f_{pb} = 1300 - 0.06 \left(\frac{L_b}{r}\right)^2 \qquad (1\text{-}3)$$

أما الجهود المسموح بها عندما تعترض المقاطع لمؤثرات أخرى فتؤخذ نسبة من جهد الشد المسموح به كما يلي :

٦٠ ٪ لجهد القص في جذوع الكمرات .

٧٠ ٪ لجهد القص في مسامير البرشام أو مسامير الصامولة المخروطة .

١٤٠ ٪ لجهـد التحميل على مسامـير البرشـام أو مسامـير الصامولـة المخروطة .

٣٠ ٪ لجهد الشد في مسامير البرشام .

٨٠ ٪ لجهد الشد في مسامـير الصامولـة .

١٠٠ ٪ لجهـد الشد في مسامير الصامولة المخروطة .

ويبين الجدول التالي (١ - ٣) الجهود المسموح بها لأصناف الفولاذ الثلاثة التي تعتمدها المواصفات المصرية $St37$ و $St44$ و $St52$.

يمكن زيادة القيم بهذا الجدول بمقدار ١٥ ٪ إذا أخذ في الاعتبار أكبـر تجميع للجهود الأساسية والجهود الإضافية .

جدول ١ ـ ٣ الجهود القصوى المسموح بها للصلب الإنشائي (حالة التحميل الأساسية)

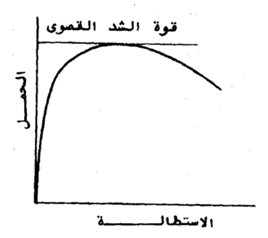
صنف الفولاذ	f_{pt}	f_{pc}	تحنيب . f_{pb} $\frac{L_b}{r} \leq 100$	تحنيب . f_{pb} $\frac{L_b}{r} \geq 100$	قص f_q	مسامير البرشام ومسامير الصامولة المخروطة: قص	مسامير البرشام ومسامير الصامولة المخروطة: التحميل
St37	1400	1300	$1300 - 0.06\left(\frac{L_b}{r}\right)^2$	$7\left(\frac{1000}{\frac{L_b}{r}}\right)^2$	840	980	1960
St44 (والمسبوك)	1600	1500	$1500 - 0.08\left(\frac{L_b}{r}\right)^2$	$7\left(\frac{1000}{\frac{L_b}{r}}\right)^2$	960	1120	2240
St52	2100	2000	$2000 - 0.13\left(\frac{L_b}{r}\right)^2$	$7\left(\frac{1000}{\frac{L_b}{r}}\right)^2$	1260	1470	2940
فولاذ توماس	1200	1100	$1100 - 0.05\left(\frac{L_b}{r}\right)^2$	$6\left(\frac{1000}{\frac{L_b}{r}}\right)^2$	720	840	1680
St55 (مسبوك)	1800	1800	—	—	—	—	—
St56 (مطروق)	2000	2000	—	—	—	—	—
حديد مسبوك CI 14	300 (شد) 600 (ضغط)	900	$900 - 8\left(\frac{L_b}{r}\right)$ $\frac{L_b}{r} \leq 80$	$\frac{1,664,000}{\left(\frac{L_b}{r}\right)^2}$ $100 > \frac{L_b}{r} \geq 80$	—	—	—

سبائك الألمنيوم الإنشائي

ليس لسبائك الألمنيوم التي تستخدم في المنشآت نقطة خضوع ظاهرة كما في الفولاذ بل إن منحني الحمل / الاستطالة يشبه ذلك الخاص بالفولاذ العالي القوة وبذلك تعتبر نقطة الخضوع فيه حيث يصل الإجهاد إلى ٠,٢ ٪ .

والاستطالة التي تحدث لقطعة الاختبار من الألمنيوم تكاد تكون ضعف ما يحدث للفولاذ الإنشائي .

ويبلغ معاير المرونة للألمنيوم الإنشائي $E = 710\ t/cm^2$ ، كما أن معاير المتانة $G = 270\ t/cm^2$ (Modulus of rigidity) وكلتا القيمتين نحو ثلث نظيرتها للفولاذ ، أما معامل التمدد الحراري $\alpha = 0.000023$ فهو ضعف نظيره للفولاذ . وبذلك تكون التشوهات المرنة في المنشآت من الألمنيوم ثلاثة أضعاف نظيرتها من الفولاذ في الظروف نفسها .



شكل (١ ـ ٢٦)
بياني الحمل / الاستطالة للألمنيوم

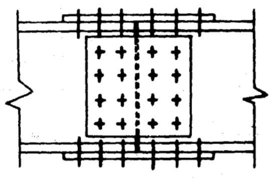
الفصل الثاني

الوصلات

(Connections)

يلزم وصل الأجزاء المعدنية في الحالات التالية :

١ ـ عند وصل قطعتين طولياً للحصول على قطعة أطول شكل (٢ ـ ١) .

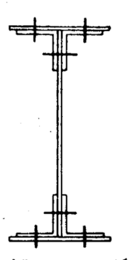


شكل (٢ ـ ١)ـ وصلة طولية لكمرة I

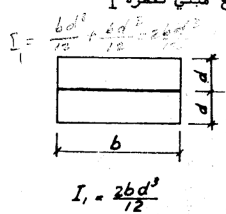
٢ ـ عند وصل عدة قطع للحصول على مقطع أكبر حيث تزداد المساحة أو عزم القصور الذاتي . (شكل ٢ ـ ٢ ، ٢ ـ ٣) .

٣ ـ عند تقوية مقطع موجود لزيادة مساحته أو عزم قصوره الذاتي أو كليهما . (شكل ٢ ـ ٤) .

٤ ـ لوصل عضو في منشأ بآخر أو بمجموعة اعضاء (شكل ٢ ـ ٥ ، ٢ ـ ٦) .



شكل (٢ - ٢) - مقطع مبني لكمرة I



2d

b

$$I_2 = \frac{b(2d)^3}{12}$$

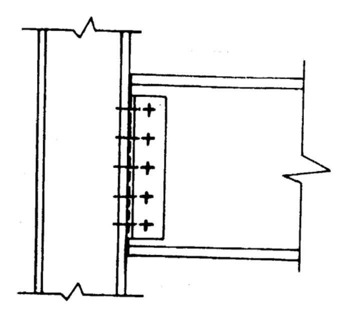
$$I_2 = 4I_1$$

أ - قطعتان منفصلتان

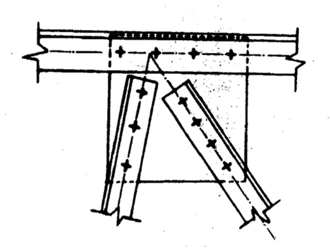
ب - قطعتان موصولتان

شكل (٢ - ٣)

شكل (٢ - ٤) - تقوية كمرة I بلوحين



شكل (٢ ـ ٥) ـ وصلة كمرة في عمود



شكل (٢ ـ ٦) ـ مفصل في كمرة شبكيـة

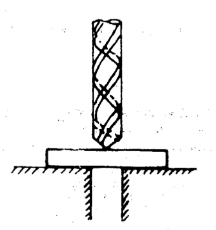
ويستخدم في ربط الأجزاء إحدى طريقتين :

١ ـ الرابطات الميكانيكية وتشمل :

أ ـ البراغي (مسامير الصامولة) .
ب ـ البراشيم (مسامير البرشام) .

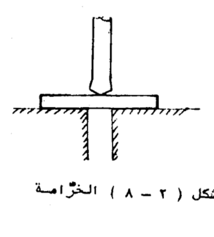
٢ ـ اللحام .

ولاستخدام البراغي أو البراشيم يلزم عمل ثقوب في القطع التـي يراد وصلها ، ولعمل الثقوب طريقتان :
١ ـ الثقب باستعمال المثقاب (شكل ٢ ـ٧) .

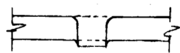


شكل (٢ ـ ٧) المثقاب

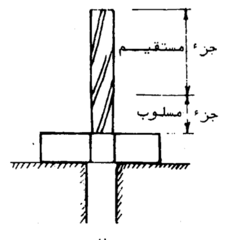
٢ ـ الخرم باستعمال الخرامة (شكل ٢ ـ٨) . ويتسبب الخرم في حدوث سيلان للمادة حول الثقب (شكل ٢ ـ ٩) وينص في الأعمال المهمة على ضرورة برغلة الثقوب المخرومة باستعمال البرغل *(Reamer)* (شكل ٢ ـ ١٠) وتكون البرغلة للثقب في القطع المراد وصلها دفعة واحدة حتى لا تحدث زحزحة إذا برغلت القطع منفردة .



شكل (٢ ــ ٨) الخرّامة



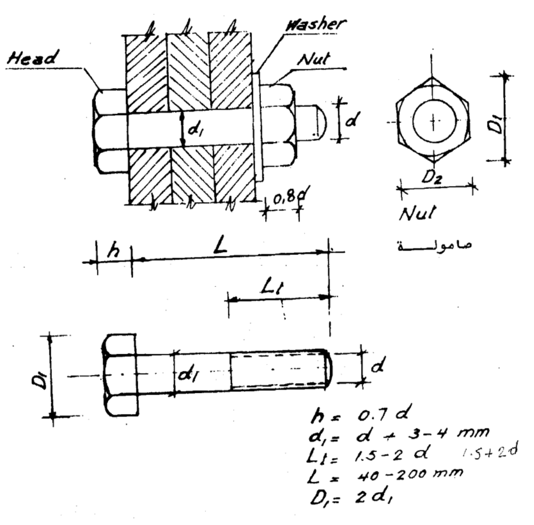
شكل (٢ - ٩)ـ سيلان المعدن بعد الثقب



شكل (٢ - ١٠) ـ البرغل

وبالطبع تخرم الثقوب بقطر أقل من المطلوب ثم تبرغل إلى القطر المطلوب .

أولاً ـ البرغي ، أو مسمار الصامولة *(Bolt)* (شكل ٢ ـ ١١) ويتكون من جسم المسمار وله رأس غالباً ما تكون مسدسة وقليلاً ما تكون مربعة وجزء من الجسم مسنن على هيئة قلاووظ *(Threads)* أو بريمة تدور فيها الصامولة *(Nut)* . وقبل ربط الصامولة يوضع بينها وبين جسم القطعة التي تربط وردة *(Washer)* لحماية القطعة أثناء الربط ودوران الصامولة .



شكل (٢ ـ ١١) ـ البرغي أو مسمار الصامولة

والبراغي صنفان

١ ـ براغي عادية وتسمى *(Black bolts)* أي سوداء كما خرجب من المصنع ويكون سطحها أحياناً غير منتظم وهي بالتالي لا تستخدم إلاّ في أعمال التركيب أو الأعمال المؤقتة . ويكون الثقب أوسع من المسمار من ٢ إلى ٣ مم . وتصنع من أسياخ صلب ٣٧ .

٢ ـ براغي عالية القوة *(High-tension bolts)* وتستخدم في الأعمال الدائمة ولاسيما التركيبات التي تتم في الموقع وتسمى هذه البراغي أيضاً *(Turned bolts)* أي مخروطة إذ أن سطحها وقطرها يسويان بدقة بواسطة المخرطة وبذلك يكاد لا يكون خلوص بينها وبين الثقب (نحو ٠,٣ مم) وقد تحتاج إلى طرق خفيف لإدخالها في الثقب الذي يجب بدوره أن يكون منتظماً تماماً . وتصنع من أسياخ صلب ٥٢ .

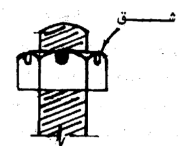
وتربط الصواميل ربطاً محكماً لكي لا تنحل بسبب الاهتزازات ويمكن التأكد من ذلك بإحدى الطرق الآتية :

١ ـ ربط صامولة ثانية تلي الأولى .

٢ ـ الدق على نهاية المسمار لكي تنطبق الأسنان .

٣ ـ استعمال ما يسمى بالتيلة وفيها يثقب المسمار ، ويشق سطح الصامولة ثم تدخل التيلة في الشق والثقب ويثنى طرفاها.

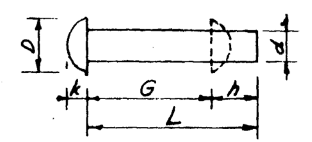
التيلـــة



شكل (٢ ـ ١٢) ـ الصامولة المشقوقة والتيلة

٤ ـ استعمال وردة سستة مشقوقة (Spring washer).

أما البراغي العالية القوة فإنها تربط بمفتاح يعمل بضغط الهواء وبذلك يمكن إجهاد المسمار بتعريضه لقوة شد تضغط على الأجزاء المربوطة .



سمك الأجزاء الممسوكة = G قطر الثقب = $d + 3\ mm$

$$h = \frac{4}{3} d$$

$$D = 1.6\, d$$

$$K = 0.6\, d$$

شكل (٢-١٢) مسمار البرشام

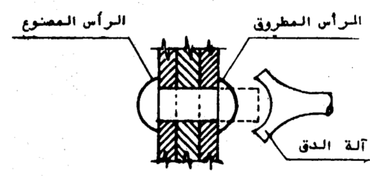
ثانياً ـ البراشيم (**Rivets**)

وتصنع من أسياخ مستديرة في مكابس خاصة لتكوين رأس لها . وللدق البرشام يحمى حتى يحمر ثم يدخل في الثقب ويسند رأسه ويدق الرأس الآخر باستخدام سندان لتكوين رأس مستديرة . وتتم عملية الدق إما بطريقة يدوية باستخدام المطارق وإما باستخدام مطرقة ميكانيكية تعمل بضغط الهواء (*Pneumatic hammer*) ، وهي طبعاً سريعة وقوية . ويجب أن يملأ المسمار فراغ الثقب تماماً كما يجب أن يكون قابضاً على الأجزاء الممسوكة .

ويكشف على البراشيم بعد الانتهاء منها بالطرق عليها بمطرقة خاصة وسماع الصوت الصادر عنها . ويحسب الطول *h* بحيث يمتلىء الثقب ويتكون الرأس المطروق دون فائض من مادة البرشام . وبالطبع عندما يبرد المسمار فإنه

ينكمش وينتج عن ذلك ضغطه على الأجزاء الممسوكة (يحدث بالبرشـام في الوقت نفسه شد معادل لقوة الضغط) .

وتقاس أقطار البرشام من واقع أقطار الثقوب . وهي عادة مضاعفات لثلاثة ملليمترات (أو $\frac{1}{8}$ بوصة) والمقاسات المستخدمة في المنشـآت العـادية ١٤ و١٧ و٢٠ مم وفي الكباري ٢٣ و ٢٦ مم . وتصنع البراشيم من صلب أضعف قليلاً من صلب المادة الممسوكة بها وذلك بسبب ما تتعرض له البراشيم من تصلب نتيجة عملية الدق المتتالي *(Strain hardening)* فهي للصلب ٣٧ و ٤٤ و ٥٢ تكون مادتها ٣٤ و ٤٠ و ٤٨ على التوالي .



شكل (٢ ـ ١٤)-دق البرشام

توضيب المسامير

يقصد بالمسامير :

أ - مسامير البرشام (البراشيم) .

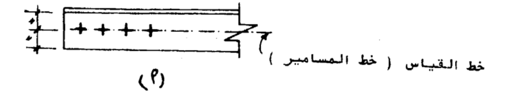
ب - مسامير القلاووظ (البراغي) علماً بأن البراغي المعترف بها في الأعمال الإنشائية هي البراغي المخروطة والتي ثقوبها مبرغلة .

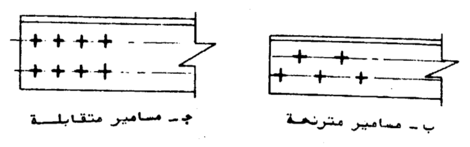
تدق المسامير على خطوط في اتجاه القوة المؤثرة ، وتحدد هذه الخطوط حسب الأوضاع الآتية :

١ - في الزوايا التي تقل عن ١١٠ توضع المسامير في خط واحد في منتصف الجزء الخالي من الرجل .

٢ - في الزوايا التي هي ١١٠ فأكبر توضع المسامير في خطين .

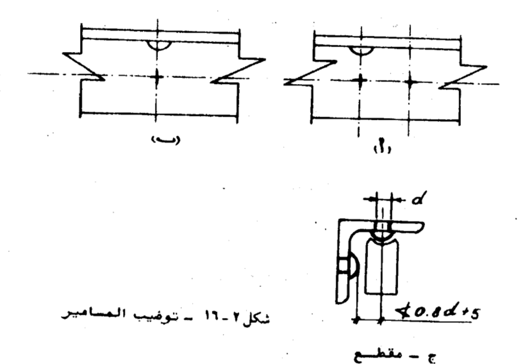
ويفضل الترتيب المترنح حيث لا يضعف كثيراً من المقطع . وتحدد جداول المقاطع أبعاد خطوط المسامير .





شكل (٢ ـ ١٥)

٣ ـ وإذا وضعت المسامير في رجلي الزاوية تجب ملاحظة إمكان دق المسامير . ويمكن أن يكون مسماران في مقطع واحد إذا سمح مقاس الرجل بذلك وإلاّ وجب ترنُّح المسامير .



شكل ٢ ـ ١٦ ـ توضيب المسامير

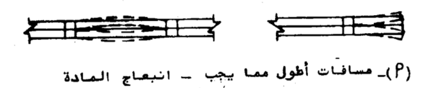
٤ - في الكمرات I العادية توضع المسامير في منتصف الجزء الخالي من الشفة .

٥ - في الكمرات I العريضة الشفة توضع المسامير في خط أو خطين حسب مقاس الشفة .

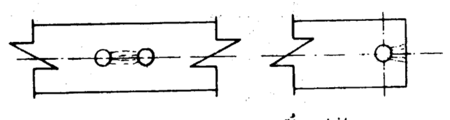
٦ - في كمرات المجرة توضع المسامير في منتصف الجزء الخالي من الشفة .

قواعد صف المسامير :

١ - تحدد قيمة قصوى وقيمة دنيا للمسافة بين مسمار وآخر (ويقصد دائماً بالمسمار محوره على امتداد جسمه) وكذلك بين المسمار ونهاية المعدن . وتسمى المسافة الأولى الخطوة (*p : pitch*) والثانية المسافة الطرفية (*e: edge distance*) .



(أ) - مسافات أطول مما يجب - انبعاج المادة

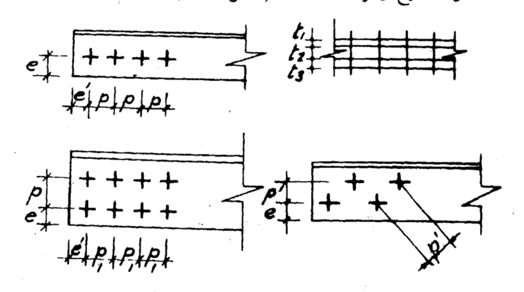


(ب) - مسافات أقصر مما يجب - شرخ المادة

شكل (٢ - ١٧)

وتحدد قيمة قصوى لكي لا تتسبب عملية الدق في انفتاح القطعتين الموصولتين بعضهما عن بعض وبذلك يتعرض المعدن للصدأ بسبب عدم إمكان دهان الأجزاء التي كشفت . وبالطبع تكون المسافة المسموح بها

لأعضاء الضغط أصغر من تلك المسموح بها لأعضاء الشد لاحتمال حدوث انبعاج (تحنيب) . كما تحدد قيمة دنيا لكي لا تسبب عملية الدق حدوث شدوخ أو تمزقات للمعدن . (شكل ٢ ـ ١٨) .



شكل (٢ ـ ١٨)

وقد حددت المواصفات قيماً لكل من e , p يوضحها الجدول التالي رقم (٢ ـ ١) :

جدول (٢ ـ ١)

المسافات		القيم القصوى في حالة: الشد	القيم القصوى في حالة: الضغط	القيمة الدنيا
الخطوة p		$8d$ $16t$	$6d$ $12t$	$3d$
المسافة الطرفية	الحرف المدرفل e	$3d$ $8t$	$3d$ $8t$	$1.5d$
	الحرف المقصوص e'	$3d$ $8t$	$3d$ $8t$	$1.75d$
الخطوة المائلة للمسامير المترنحة p'		$12d$ $24t$	$9d$ $18t$	$4.5d$

حيث:

d = قطر المسمار (الثقب) .

t = السمك الخارجي الأقل للتخانات الموصولة (في الرسم هي t_1)

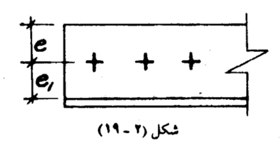
وتطبيقاً لما جاء بذلك الجدول فإن هناك حدوداً للمسمار الذي يدق في زاوية . وتحدد العلاقة بين رجل الزاوية والمسمار كالآتي :

أدنى مسافة طرفية = $e = 1.5\,d$

فيكون الجزء الخالي من الرجل = $3d$.

إذن مقاس الزاوية = $3d + t$ (t = سمك رجل الزاوية)

وهذه القيمة تقريبية . ويبين الجدول التالي رقم (٢ - ٢) مقاس المسمار وأقل زاوية يدق بها :

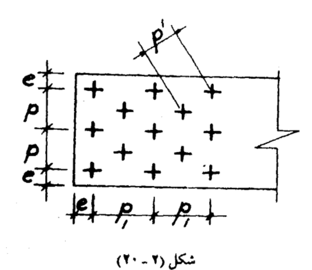


شكل (٢ - ١٩)

جدول (٢ - ٢)

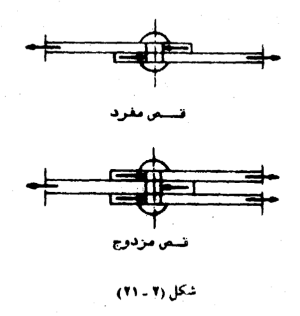
قطر المسمار	أقل مقاس للزاوية
١٤	٤٥
١٧	٥٥
٢٠	٦٥
٢٣	٧٥
٢٦	٩٠

وتخضع المسامير التي تدق في الجذوع أو الألواح للقواعد السابقة نفسها أي تحدد خطوط المسامير في اتجاه القوة المؤثرة ثم توضب المسامير إما في صفوف متعامدة وإما مترنحة .



شكل (٢ - ٢٠)

مقاومة الوصلات المبرشمة



قص مفرد

قص مزدوج

شكل (٢ - ٢١)

سبق أن أوضحنا أن عملية دق البرشام تعني :

١ ـ امتلاء الثقب تماماً بالمادة .

٢ ـ ضغط رأسي البرشام على الأجزاء الموصولة .

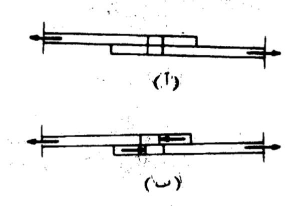
فإذا أثرت قوى على الأجزاء الموصولة فإن جسم البرشام (ومثله في ذلك مثل البراغي المحكمة) لا يتعرض لعزم انحناء وإنما تتحول القوى إلى قوى داخلية بين الأجزاء الموصولة وبين جسم البرشام وعندئذ يقاوم البرشام تأثير القوى بإحدى طريقتين :

١ ـ المقاومة للقص *(Resistance in shear)*

هنا يجدر التمييز بين وصلتين :

أ ـ الوصلة المفردة *(Lap joint)*

حيث تربط تخانتان فقط ويقاوم انزلاق أحد اللوحين على الآخر مقاومة القص في مقطع جسم البرشام وليس هذا القص ناشئا عن عزم انحناء وإنما هو قص مباشر ولذلك كان توزيع الجهود على المقطع متساويا . فإذا كان



شكل (٢ ـ ٢٢) ـ وصلة قص مفرد

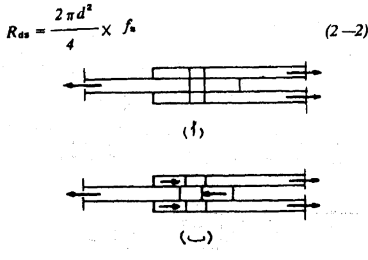
قطر المسمار d وكان جهد القص المباشر المسموح به f_s ، كانت مقاومة المسمار للقص المفرد (*Single shear*) :

$$R_{ss} = \frac{\pi d^2}{4} \times f_s \qquad (2-1)$$

ب ـ الوصلة المزدوجة (*Double joint*)

حيث تربط ثلاث تخانات تعمل واحدة في اتجاه والأخريان في الاتجاه المضاد وعندئذ يقاوم انزلاق اللوح الأوسط على اللوحين الخارجين مقاومة القص على مستويين . وتكون مقاومة المسمار للقص المزدوج (*Double Shear*) :

$$R_{ds} = \frac{2\pi d^2}{4} \times f_s \qquad (2-2)$$

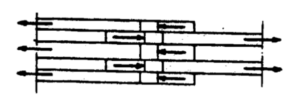


شكل (٢ - ٢٣) ـ وصلة قص مزدوج

حـ ـ الوصلة المضاعفة (*Multiple joint*)

وفيها تعمل قطعتان في اتجاه وثلاث قطع في الاتجاه المضاد،عندئذ تحدث مقاومة القص على أربعة مستويات وبالتالي تكون المقاومة الرباعية للقص :

$$R_{4s} = 4 \times \frac{\pi d^2}{4} \times f_s \qquad (2-3)$$



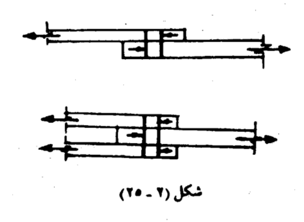
شكل (٢ - ٢٤)–وصلة قص رباعي

ويلاحظ هنا أنه كي يمكن تفهم الوصلات يفترض أن أحد طرفي الوصلة مثبت ويجذب الطرف الآخر حتى يتحرك ثم نتبين ما حدث للمسمار أو للقطع الممسوكة .

٢ - المقاومة للتحميل *(Resistance in bearing)*

وفيها يحدث ضغط مباشر (تحميل) فيما بين جسم البرشام وإحدى القطع الممسوكة أو بعضها . وتحدث المقاومة وتستمر حتى يزيد جهد التحميل إلى الدرجة التي تسمح بانزلاق القطع الممسوكة (في هذه الحالة يتجاوز جهد التحميل حد الخضوع) .

وفي الوصلة المفردة تحدث المقاومة على جانب واحد في كل ناحية :



شكل (٢ - ٢٥)

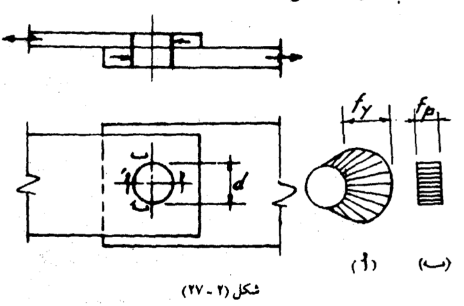
وفي الوصلة المزدوجة تحدث المقاومة على جانب في إحدى الناحيتين وعلى جانبين في الناحية الأخرى .

وفي الوصلة المضاعفة تحدث المقاومة على جانبين في إحدى الناحيتين وعلى ثلاثة جوانب في الناحية الأخرى .



شكل (٢ - ٢٦)

حساب المقاومة للتحميل :



شكل (٢ - ٢٧)

يلاحظ أنه عند بدء تحميل اللوحين فإن النقطة أ تتعرض أولاً لمقاومة الحمل حتى يصل الجهد فيها إلى قيمة جهد الخضوع وعندئذ يسيل المعدن وتأخذ النقطتان المجاورتان نصيبهما من المقاومة حتى يصل الجهد فيهما إلى حد الخضوع وعندئذ تشاركها النقطتان المجاورتان وهكذا . أما النقطة ب فإن الجهد فيها يكون صفراً لموازاة المعدن لاتجاه القوى الخارجية وبذلك يكون

توزيع الجهود كالمبين في الرسم (أ) وذلك على اللوح العلوي، ويحدث التوزيع نفسه على اللوح السفلي في الجهة الأخرى . ويكون الجهد أكبر ما يمكن عند النقطة مَ .

وقد وجد أنه إذا أسقطت الجهود الواقعة على محيط المسمار على مستو يمر بقطر المسمار فإنه يمكن اعتبارها موزعة بانتظام . ويصرح في هذه الحالة أن يصل الجهد إلى جهد التناسب (f_b) الذي يقل قليلاً عن جهد الخضوع .

وإذن فإن التحميل يحدث على سطح افتراضي مقداره $(t \times d)$ حيث t هي سمك اللوح الذي يحمّل على المسمار . ويحدِد قدرة المسمار أو مقاومته للتحميل على السمك أو مجموع الأسماك التي تتحمل في اتجاه واحد . وبذلك تكون مقاومة التحميل :

$$R_b = d \times t \times f_b \qquad (2-4)$$

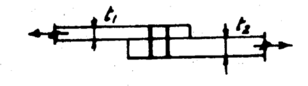
حيث d = قطر المسمار .

t = المجموع الأدنى للتخانات التي تتحمل في اتجاه واحد .

f_b = جهد التحميل ويؤخذ $1960\ kg / cm^2$ لصلب ٣٧ .

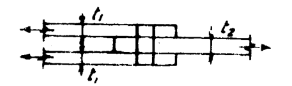
ففي الوصلات التالية ، (شكل ٢ ـ ٢٨) .

(آ) t_2 هي الأقل وهي الحرجة :



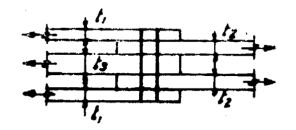
شكل (٢ ـ ٢٨ أ)

ب ـ t_2 أو $2t_1$ ، أيهما أقل هي الحرجة .



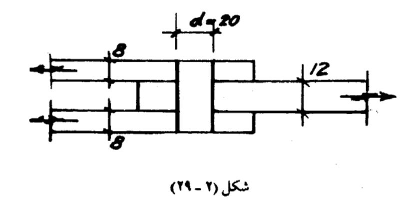
شكل (٢ ـ ٢٨ ب)

(حـ) ـ $(2t_1 + t_3)$ أو $2t_2$ ، أيهما أقل هي الحرجة .



شكل (٢ ـ ٢٨ حـ)

مثال ـ المطلوب حساب قدرة مسمار البرشام قطر ٢٠ مم الذي يعمل في وصلة مزدوجة بحسب الرسم بشكل (٢ ـ ٢٩) .



شكل (٢ ـ ٢٩)

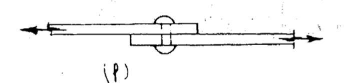
$$1 - R_{ds} = \frac{2\pi \times 2.0^2}{4} \times 980 = 6160\,kg$$

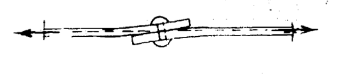
التحميل يكون إما على ٨ × ٢ = ١٦ مم . وإمّا على ١٢ مم (وهي الحرجة) .

$$2 - R_b = 2.0 \times 1.2 \times 1920 = 4608\ Kg$$

∴ قدرة المسمار = ٤٦٠٨ كج .

ملحوظة ـ يلاحظ أن الوصلة المنفردة عرضة لحدوث تشويه بها بسبب عدم مركزية الحمل حيث يجب أن تكون القوتان على امتداد واحد وبذلك تتعرض الوصلة لعزم انحناء يتسبب في انثنائها .


(أ)


(ب)

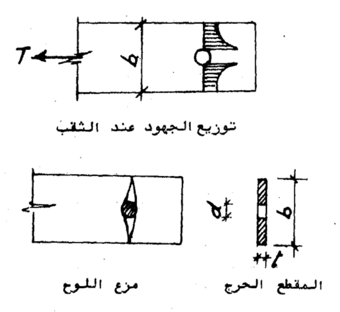

(حـ)

شكل (٢ ـ ٣٠) تشوه الوصلة المفردة

انهيار الوصلات المبرشمة :

يمكن توضيح تأثر لوح مبرشم عندما يتعرض لقوة خارجية عن طريق لوح به مسمار واحد ومعرض لشد . وقد يحدث للوح انهيار بأي من الطرق الثلاث الآتية ، وفي كلٍّ يفترض أن المسمار على درجة من القوة بحيث يسبق انهيارُ اللوح حدوثَ انهيار بالمسمار :

١ ـ مزع اللوح *(Tearing of plate)*



شكل (٢ ـ ٣١)

الجهد في اللوح قبل الثقب = $\frac{T}{b \times t}$ وهو موزع بانتظام في المقطع .

ولكن المقطع الحرج هو حيث يوجد الثقب وبذلك يجب خصمه من المساحة التي تقاوم الحمل . ويفترض أن الجهد موزع بانتظام في ذلك المقطع بالرغم من أنه ليس كذلك ، حيث يبلغ أقصاه عند مبدأ الثقب . وبذلك تكون المساحة الفعالة وتسمى المساحة الصافية :

$$Effective\ area = Net\ area$$

$$A_{net} = bt - dt$$

$$= (b - d)\, t \qquad (2-5)\, a$$

ويحدث المزع بسبب ارتفاع الجهد عن الجهد المحسوب باعتباره موزعاً بانتظام .

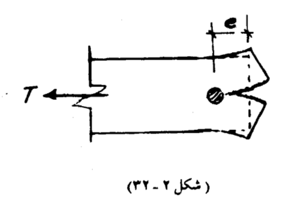
$$(\text{الجهد الفعلي})\quad f_{act} = \frac{T}{(b-d)\,t} \qquad (2-5)$$

ويلاحظ أنه إذا كان اللوح معرضاً لضغط فإن مثل هذا الانهيار لا يحدث ، لأن اللوح في موقع الثقب سوف يتحمل على المسمار وبالتالي تكون المساحة الفعالة هي المساحة كلها .

وقد وجد أنه إذا كانت المسافة b لا تقل عن ٣ أمثال القطر كان اللوح مأموناً ضد هذا النوع من الانهيار ، وهذه هي القيمة الدنيا لخطوة المسامير التي حددتها المواصفات .

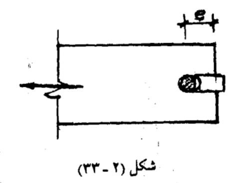
٢ ـ شق اللوح *(Splitting of plate)*

ويحدث إذا كان المسمار قريباً جداً من طرف اللوح .



(شكل ٢ ـ ٣٢)

٣ ـ قص اللوح (Shearing of plate)
ويحدث أيضاً إذا كان المسمار قريباً جداً من طرف اللوح .



شكل (٢ ـ ٣٣)

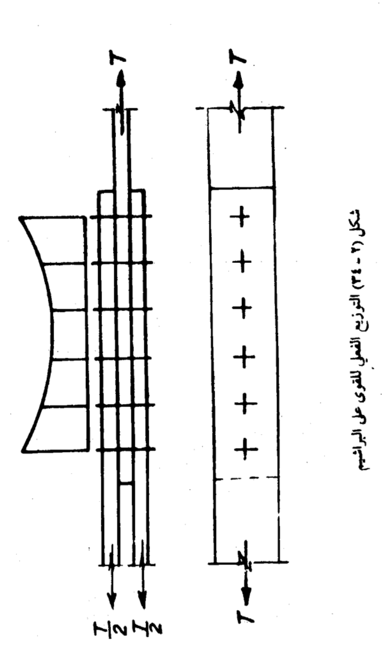
ويكون اللوح مأموناً ضد هذين الانهيارين إذا كانت المسافة الطرفية (e) لا تقل عن ١,٥ مثل قطر المسمار ولا تقل عن ١,٧٥ مثل قطر المسمار اذا كان طرف اللوح مقصوصا .

حساب الوصلات المبرشمة :

عند شد وصلة كالمبينة في شكل (٢ ـ ٣٤) فإن الحمل يصل إلى المسمارين الطرفيين أولاً ، وعندما يصل الجهد فيهما إلى حد الخضوع يحصل للمادة سيلان ، بحيث ينتقل ما زاد من الحمل إلى المسمارين اللذين يليانهما وبدورهما ينقلان الزيادة في الحمل إلى اللذين يليانهما وهكذا . ويكون التوزيع الحقيقي للقوى في البراشيم بحسب الموضح بالرسم . إلاّ أنه قد اتفق على اعتبار الحمل موزعاً على البراشيم بالتساوي .

ولكي يكون هذا الفرض أقرب ما يكون إلى نتائج التجارب المخبرية وجب ألا يزيد عدد المسامير في صف واحد في اتجاه القوة على سبعة .

وبذلك يكون عدد المسامير (n) اللازمة لمقاومة قوة مقدارها (P) هي :



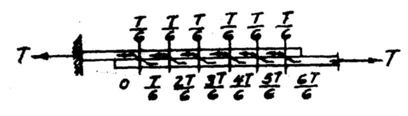
شكل (٢ - ٣٤) التوزيع الفعلي للقوى على البراشيم

$$n' = \frac{P}{R_{least}} \qquad (2-6)$$

حيث (R_{least}) هي المقاومة **الأصغر للمسمار** من القيمتين : مقاومة القص ومقاومة التحميل . آخذين في الاعتبار حالة الوصله وهل هي مفردة أو مزدوجة أو مضاعفة .

ويُنَص على ألا يقل عدد المسامير في وصلة عن اثنين .

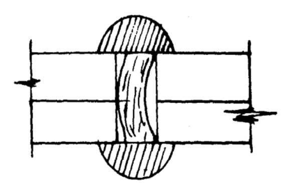
ولكي يُفهم عمل المسامير نتصور أن أحد طرفي الوصلة مثبت ونشد الطرف الآخر ، حيث ينتقل عند كل مسمار نصيب متساوٍ من الحمل من أحد الطرفين إلى الآخر وتتجمع تلك الأنصبة حتى تصل في النهاية إلى القوة المؤثرة كما في شكل (٢ - ٣٥) .



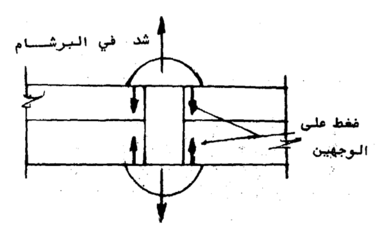
شكل (٢ - ٣٥)

المسامير في الشد :

تفضل المواصفات عدم استخدام البراشيم إذا تعرضت لقوة شد وتفضل عليها البراغي ولاسيما المحكمة منها وعلى الأخص العالية الشد *(High-tension bolts)* ولعلّ السبب هو عدم التيقن من إحكام ملء فراغ الثقب بالبرشام وبذلك يتعرض البرشام للاستطالة تحت قوة الشد إلاّ إن البرشام المدقوق بطريقة سليمة يحدث فيه سبق إجهاد (شد) يجعله يقاوم قوة الشد التي سيتعرض لها بأمان .



أ ـ رسم مبالغ فيه لبرشام غير متقن الدق.



ب ـ برشام محكم الدق

شكل (٢ ـ ٣٦)

ثالثاً ـ اللحام(Welding)

اللحام هو عملية صهر قضيب من معدن ووضع المعدن المنصهر في الفراغ بين قطعتي المعدن المراد لحامها وبحيث تصل حرارة منطقة اللحام إلى درجة الاحمرار حتى يلتصق المعدن المنصهر بالمعدن الأصلي في كل من جانبي الوصلة على أنْ تصبح القطعتان وحدة عندما تبرد الوصلة .

وتنص المواصفات على أنه عند اختبار وصلة ملحومة يجب أن تنكسر قطعة الاختبار خارج منطقة اللحام .

وتتم عملية التسخين واللحام بطريقتين :

١ ـ اللحام بالغاز ـ *(Oxy-acetylene-Welding)*

ويطلق عليه في السوق اللحام بالاكسجين وهو في الحقيقة استخدام خليط من غازي الأوكسجين والأستلين في إنتاج الحرارة اللازمة لصهر قضيب اللحام ولتسخين الجزئين المراد لحامهما . ويلتهب غاز الاستلين بمساعدة الأكسجين لأعطاء تلك الحرارة .

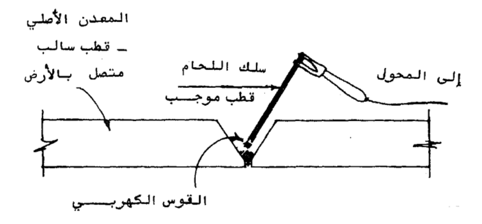
كما يستخدم ذلك الخليط في أعمال قطع الأجزاء الفولاذية ولا سيما السميكة منها أو التي لا يسهل قطعها بالمقص أو بالمنشار .

٢ ـ اللحام بالقوس الكهربي *(Electric-arc welding)*

ويطلق عليها في السوق اللحام بالكهرباء . وتنتج الحرارة المطلوبة عن طريق استخدام قضيب اللحام على أن يكون أحد قطبي الكهرباء ويكون القطب الثاني هو المادة المطلوب لحامها وينشأ فيما بين القطبين قوس كهربي تكفي حرارته لصهر معدن القضيب وتسخين المعدن الأصلي .

ويستخدم لهذه العملية تيار مستمر ذي ضغط (فولت) منخفض يتراوح بين ٥٠ و ٨٠ فولت بينما الأمبير عالٍ جداً يصل إلى ٣٠٠ امبير ، ويستعان على ذلك بمحوّل للتيار خاص بعمليات اللحام .

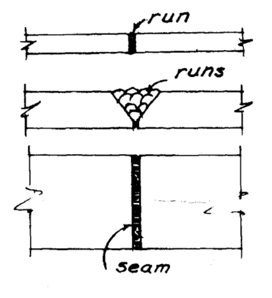
ولما كانت أسماك الأجزاء المطلوب لحامها مختلفة كانت هناك أهمية لتحديد كمية الحرارة الصادرة عن المحول ، كما تستخدم مقاسات مختلفة لقضبان اللحام حيث تزداد سمكاً كلما زادت سماكة الأجزاء الملحومة .



قضيب (سلك) اللحام *(Electrode)* المعدن الأصلي *(Parent metal)*

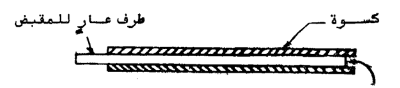
شكل (٢ ـ ٣٧) ـ اللحام بالقوس الكهربي

وتسير عملية اللحام على هيئة خطوط *(Runs)* إذ لا يُملأ الفراغ دفعة واحدة ويسمى خط اللحام المنتهي *Seam* .



شكل (٢ ـ ٣٨)

سلك اللحام :



شكل (٢ - ٣٩)

تلزم لصهره حرارة عالية ترفع حرارته حتى يحمر ثم ينصهر ، وكذلك لتسخين المعدن الأصلي . وترتفع قابلية الصلب للصدأ كلما ارتفعت درجة حرارته ، ويكون هناك احتمال اختلاط الصدأ عديم القوة بالمعدن المنصهر مما يتسبب في ضعف اللحام . ولذلك ابتكرت طريقة لحماية المعدن من الصـدأ أثناء عملية اللحام وبعد انتهائها . إذ يكسى سلك اللحام بمادة هشة لها هذه الخواص :

أ ـ درجة انصهارهـا أعـلا من درجة انصهار الصلب .

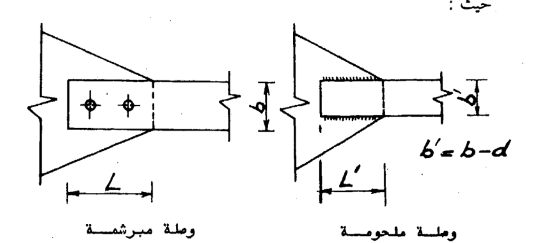
ب . كثافتها أقل من كثافة الصلب .

حـ ـ أن تكون هشة سهلة التقصيف .

وتبرز الكسوة على السلك طول مدة اللحام وبـذلك تحمـي المادة من التأكسد وذلك نظراً لأن الكسوة تنصهر أبطأ من المعدن ، ونظراً لأنها أخف كثافة فهي بذلك ، وهي منصهرة ، تطفو على الصلب المنصهـر ، على هيئـة خبث . وبعد اللحام يَحمِي الخبثُ الصلبَ من التأكسد لأنه يغطيه . وبعد أن يبرد اللحام يطرق على الخبث بمطرقة خفيفة فينكسر وتنكشف مادة اللحام لماعة خالية من الأكسدة . ويزال الخبث من اللحام قبل اجراء خط لحام جديد فوق الخط السابق وكذلك بعد الانتهاء من اللحام كلية .

مزايا اللحام

١ ـ الوفر في كمية الصلب المستخدم ، كما يتبين من شكل (٢ ـ ٤٠) ، حيث :



العرض الفَعال b' ـ أصغر	العرض الفعال $(b-d)$

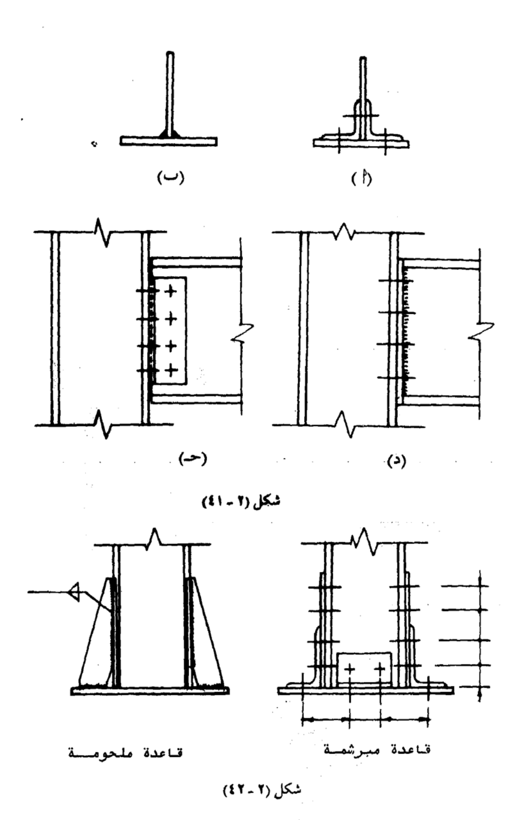
طول الوصلَة L' ـ أقل	طول الوصلة L

شكل (٢ ـ ٤٠)

آ ـ لا يخصم جزء من المقطع بسبب ثقوب المسامير .
ب ـ طول الوصلة للقوة نفسها أقل في حالة اللحام .
جـ ـ لا يحتاج في اللحام إلى أجزاء مساعدة للوصلات (شكل٢ ـ ٤١) .
د ـ ليس هناك تحديد لحد أدنى لمقاس الزوايا المستخدمة .

٢ ـ الوفر في المجهود

آ ـ لا تحتاج الرسومات إلى كثير من التفاصيل كما هو الحال في تحديد عدد المسامير ومواقعها . وأبعادها ، شكل (٢ ـ ٤٢) :

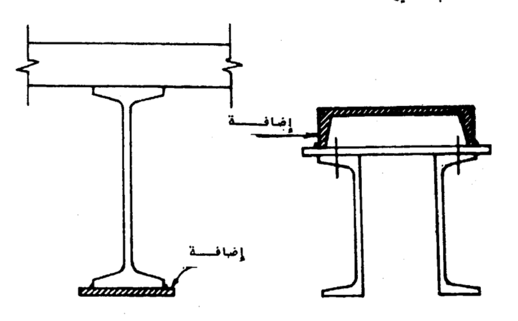


شكل (٢ - ٤١)

شكل (٢ - ٤٢)

ب ـ العمل في الورشة أقل ، كقياس مقاسات المسامير وأبعادها ثم أعمال التثقيب والتخريم والبرغلة وما يقتضيه ذلك من الاحتياط في توفيق الثقوب بعضها على بعض وما يتطلبه العمل من مجهود في نقل القطع المختلفة وتناولها .

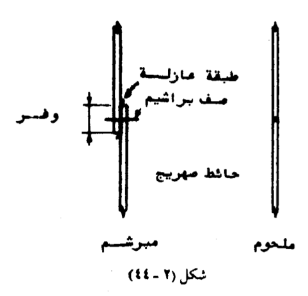
جـ ـ سهولة إجراء التعديلات والتقويات ، بل إمكان عمل ما لا يمكن عمله بالمسامير .



شكل (٢ ـ ٤٣) ـ التقوية بالإضافة

٣ ـ تمنع تسرب السوائل والغازات من صهاريج المواد البترولية (بالإضافة إلى الوفر في الألواح)

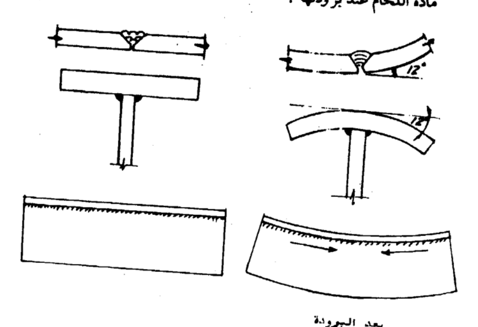
٤ ـ لا ضوضاء كالناشئة من دق البراشيم .



شكل (٢ - ٤٤)

متاعب اللحام :

١ - الالتواءات الناشئة عن التمدد غير المنتظم للمعدن عند تسخينه ثم الانكماش غير المنتظم عندما يأخذ المعدن في البرودة ، بالإضافة إلى تقلص مادة اللحام عند برودتها .

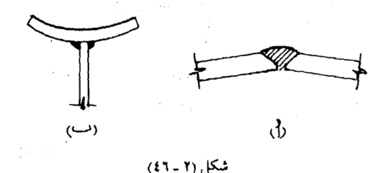


شكل (٢ - ٤٥) ـ التشوهات الناشئة عن اللحام

وتعالج هذه الالتواءات كما يلي :

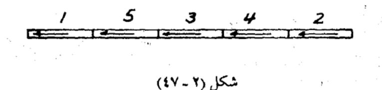
آ ـ البدء باللوحين مائلين بالعكس (شكل ٢ ـ ٤٦ أ) .

ب ـ البدء باللوح منحنيا بالعكس (شكل ٢ ـ ٤٦ ب) .



شكل (٢ ـ ٤٦)

جـ ـ عدم اللحام في خط مستمر ؛ ولكن يقطّع مسير خط اللحام أجزاء ليست متعاقبة ولكن متفرقة كما في شكل (٢ ـ ٤٧) .

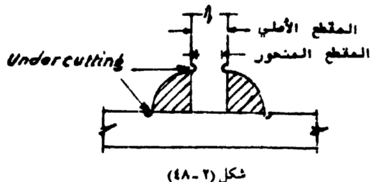


شكل (٢ ـ ٤٧)

٢ ـ فقدان جزء من المقطع :

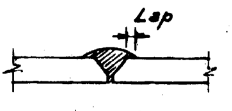
عملية اللحام فنية تقتضي اختيار سلك اللحام المناسب وكذلك كمية التيار (الأمبير) اللازمة لصهر السلك وتسخين المعدن الأصلي .

فإذا حدث وكانت الحرارة الناشئة عن القوس الكهربي أعلى من اللازم أو استمر القوس الكهربي في نقطة مدة أطول من اللازم فإنه يحدث أن ينصهر المعدن الأصلي قرب منطقة اللحام ويسيل ، وينتج عند ذلك ما يسمى بالنحر *(Undercutting)* ويفقد جزء من المقطع . (شكل ٢ ـ ٤٨) .



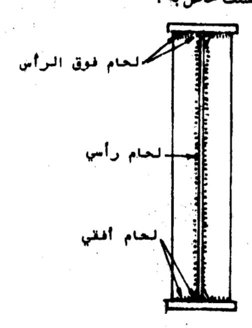
شكل (٢ - ٤٨)

٣ ـ ركوب مادة اللحـــام (Lap) على المعــدن الأصلي وليس في ذلك تقـوية ولكنـه يتسبـب في تركيز الجهود في المنطقة التي زاد فيهـا المقطع (شكل ٢ - ٤٩) .



شكل (٢ - ٤٩)

٤ ـ اللحام فوق الرأس (Overhead welding) ويعني أن تكون منطقة اللحام أعلى من رأس العامل، ويحتاج مثل هذا اللحام إلى عناية كبيرة حتى يمكن ملء الفراغ المطلوب وحتى لا يسيل مصهور سلك اللحام . كما يستخدم لمثل هذا النوع من اللحام سلك خاص به .

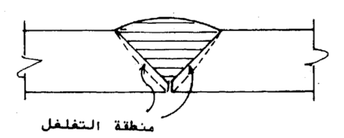


شكل (٢ - ٥٠)

٥ ـ وهناك متاعب اخرى يتسبب فيها العامل غير الماهر ومنها :

أ ـ عدم تسخين المعدن الأصلي تسخيناً كافياً لدرجة قرب الانصهار *(Fusion)* حتى يمكن أن يلتصق به المعدن المنصهر تماماً .

ب ـ يفترض في اللحام الجيد أن تكون هناك منطقة تغلغل *(Penetration)* وفيها يحدث امتزاج بين المعدن الأصلي ومعدن سلك اللحام .



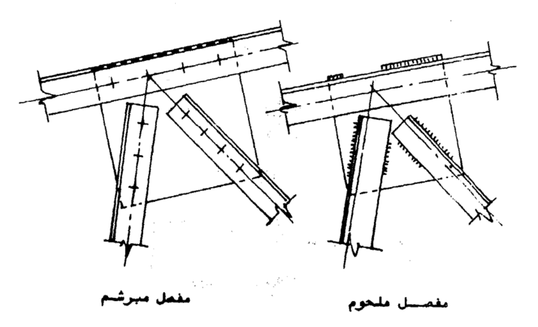
شكل (٢ ـ ٥١)

جـ ـ أن يترك العامل أجزاء من خبث كسوة سلك اللحام تضعف من مقطع مادة اللحام .

د ـ أن يهمل العامل في ملء الفراغ المطلوب فيبقى به فراغ هوائي ، أي أن مقطع مادة اللحام يكون غير كامل .

٦ ـ جساءة الوصلات الملحومة *(Rigidity of welded joints)*

بمقارنة الوصلات الملحومة بالوصلات المبرشمة يتضح أن أعضاء الوصلة المبرشمة يمكن أن تدور إلى حد ما ، حيث توجد البراشيم في نقط معينة ويمكن أن تنزلق الأعضاء على لوح التجميع عند البراشيم أما في حالة اللحام فإن دوران الأعضاء صعب جداً بسبب استمرار خط اللحام على العضو . فالوصلة الملحومة أكثر جساءة .



شكل (٢ - ٥٢)

ويعوض بعضاً من آثار هذه الجساءة أن الوصلة الملحومة تكون أصغر من وصلة مبرشمة تعادلها في القوة .

أنواع اللحام (Types of welds)

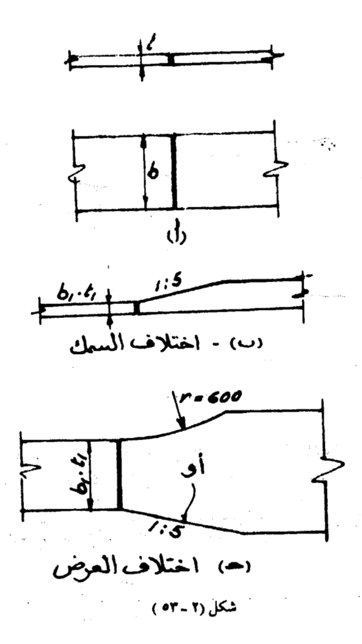
هناك نوعان رئيسيان وهما :

١ ـ لحام النهايات (**Butt weld**) .

٢ ـ لحام زاوي (**Fillet weld**) .

أولاً ـ لحام النهايات :

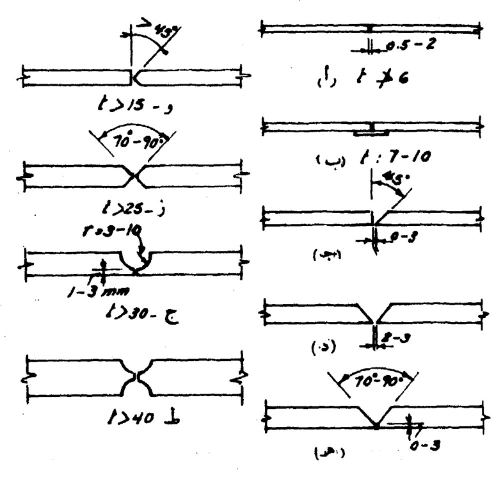
حيث تلتقـي نهايتـا جزأين ويتـم لحـامهما ليكونـا جزءاً واحداً . وتكون مساحة اللحام هي المساحـة الأصغـر للجزأين الموصولين .



شكل (٢ ـ ٥٣)

ويأخذ هذا النوع من اللحام الأشكال الآتية :

آ ـ متعامد *(Square)* ويكون في الأسماك الصغيرة حتى يمكن ضمان وصول مادة اللحام فيما بين القطعتين (شكل ٢ ـ ٥٤ أ) . وقد يقتضي الأمر وضع شريط تحت الفاصل لضمان ملء الفراغ . (شكل ٢ ـ ٥٤ ب) .



ب ـ نهاية واحدة مشطوفة (Single bevel - J) شكل (٢ ـ ٥٤ حـ)

جـ ـ النهايتان مشطوفتان (Single V) شكل (٢ ـ ٥٤ د ، هـ)

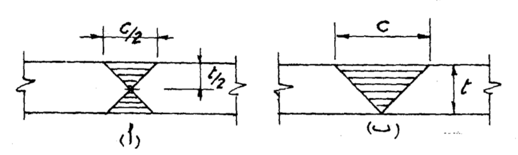
د ـ نهاية مشطوفة من الجهتين (Double bevel) or (k) شكل (٢ ـ ٥٤ و)

هـ ـ نهايتان مشطوفتان من الجهتين (Double-V) or (X) شكل (٢ ـ ٥٤ ز)

و ـ نهايتان مقعرتان من سطح واحد (Single-U) شكل (٢ ـ ٥٤ ح)

ر ـ نهايتان مقعرتان من الجهتين (Double-U) شكل (٢ ـ ٥٤ ط)

ويلاحظ أنه يجب الاقتصاد في كمية اللحام حتى ولو اقتضى ذلك تجهيز أحرف القطع بمجهور أكبر ، فمثلاً كمية اللحام في الوصلة آ نصف كمية اللحام في الوصلة ب في شكل (٢ ـ ٥٥) :



شكل (٢ ـ ٥٥)

اللحام في ب $\frac{1}{2}ct = \frac{t \times c}{2}$

اللحام في أ $\frac{1}{4}c \times t = 2 \times \frac{c}{2} \times \frac{t}{2} \times \frac{1}{2}$

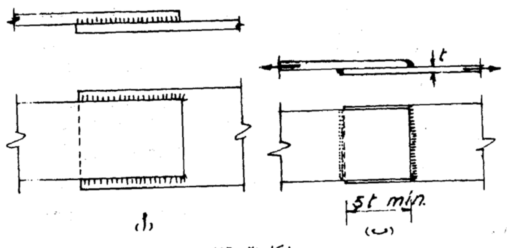
$= \frac{t \times c}{4}$

ثانياً ـ اللحام الزاوي :

ويأخذ هذا النوع من اللحام الأوضاع الآتية :

آ ـ لحام متطابق ، وهو صنفان :

١ ـ لحام جانبي *(Slide lap-weld)* حيث اللحام في اتجاه القوة (شكل ٢ ـ ٥٦أ) .



شكل (٢ ـ ٥٦)

٢ ـ لحام طرفي *End lap-weld* حيث اللحام عمودي على اتجاه القوة (شكل ٢ ـ ٥٦ ب) .

ب ـ لحام تقابلي ، كما في الأوضاع المبينة بشكل (٢ ـ ٥٧) وأصنافه :

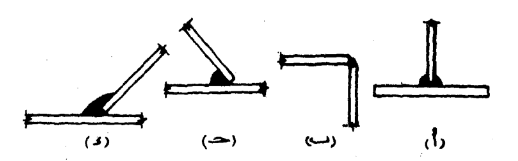
١ ـ لحام تي *(T-weld)* ـ أ

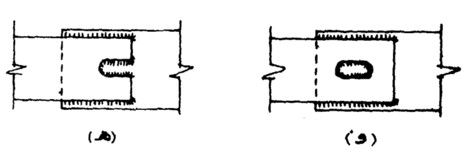
٢ ـ لحام ركني *(Corner weld)* ـ ب

٣ ـ لحام مائل ـ حـ و د

٤ ـ لحام نافذ *(Plug weld)* ـ هـ

٥ ـ لحام مشقبية *(Slot weld)* ـ و





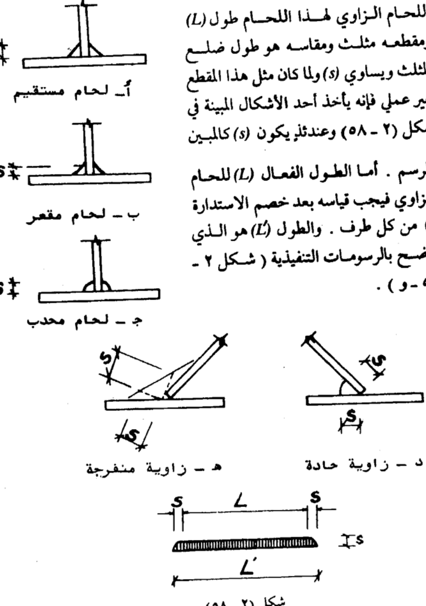
شكل (٢ ـ ٥٧)

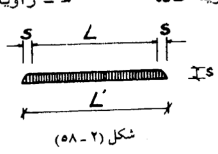
مقاس اللحام ـ (Size of weld)

١ ـ اللحام التقابلي مقاسه هو مقاس أقل اللوحين سمكاً وعرضاً ، أي أقلهما مساحة عند منطقة اللحام ، كما في شكل (٢ ـ ٥٣)

مقاس أو مساحة اللحام = $b \times t$ أو $b_1 \times t_1$

٢ ـ اللحام الزاوي لهذا اللحام طول (L) ومقطعه مثلث ومقاسه هو طول ضلع المثلث ويساوي (s) ولما كان مثل هذا المقطع غير عملي فإنه يأخذ أحد الأشكال المبينة في شكل (٢ ـ ٥٨) وعندئذٍ يكون (s) كالمبين بالرسم . أما الطول الفعال (L) للحام الزاوي فيجب قياسه بعد خصم الاستدارة (s) من كل طرف . والطول (L') هو الذي يوضح بالرسومات التنفيذية (شكل ٢ ـ ٥٨ ـ و) .





شكل (٢ ـ ٥٨)

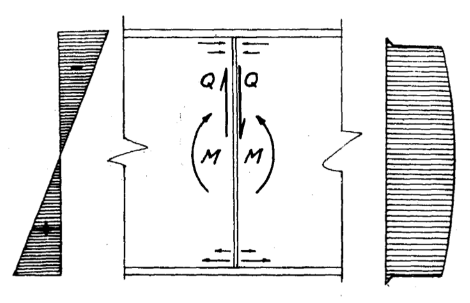
الجهود المسموح بها في خطوط اللحام :

(Permissible stresses in welded seams) :

أولاً ـ كيف تعمل خطوط اللحام

١ ـ اللحام التقابلي :

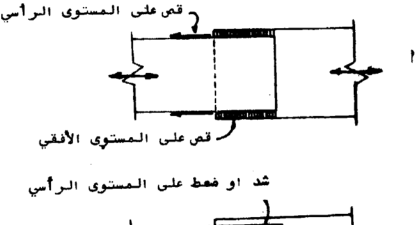
يتعرض خط اللحام للجهود نفسها التي تتعرض لها القطعتان الموصولتان ، فقد يتعرض لضغط أو لشد أو لقص .

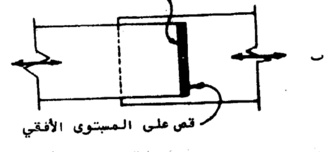


شكل (٢ ـ ٥٩) الجهود في مقطع كمرة

ويمكن معاينة هذه الجهود الثلاثة في وصلة جذع كمرة لوحية حيث يتعرض الجذع لعزم حني ولقوة قص . ويسبب عزم الحني جهوداً عمودية في لوح الجذع : ضغطاً في نصفه العلوي وشداً في نصفه السفلي . وتسبب قوة القص جهوداً في الاتجاه الطولي لخط اللحام .

٢ ـ اللحام الزاوي .

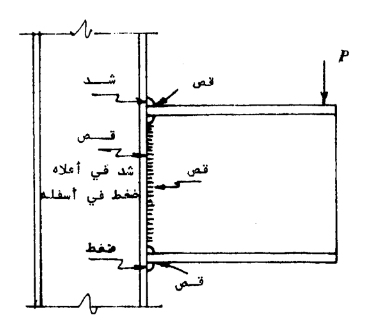




شكل (٢ - ٦٠) ـ الجهود في خطوط اللحام

وله سطحان قد يتعرض كلاهما لجهود قص (شكل ٢ـ٦٠أ) وقد يتعرض أحد السطحين لجهود شد أو ضغط بينما يتعرض السطح الآخر لجهود قص (شكل ٢ - ٦٠ ب) .

ويمكن معاينة هذه الأنواع كلها في وصلة كابولي كما في شكل (٢ - ٦١) :



شكل (٢ -٦١) - كابولي ملحوم

ثانياً - الجهود المسموح بها :

سبق أن أشرنا إلى أن عملية اللحام تحتاج إلى مهارة لا تتيسر دائماً، ولذلك يقسم اللحام إلى درجتين :

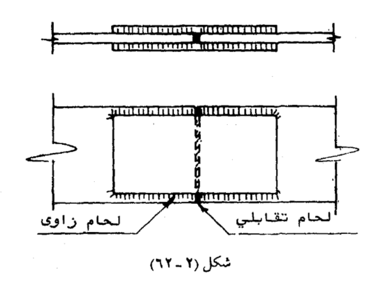
١ - لحام الدرجة الأولى
٢ - لحام عادي ، جيد

وتكون الجهود المسموح بها في لحام الدرجة الأولى أعلى من تلك المسموح بها في اللحام العادي . ويبين الجدول رقم (٢ - ٣) الجهود المسموح بها في خطوط اللحام .

جدول (٢ - ٣)

نوع اللحام	درجة اللحام	الجهود المسموح بها في حالة		
		القص	الضغط	الشد
لحام تقابلي	عادي جيد	$0.55\ f_{pt}$	$1.0\ f_{pt}$	$0.7\ f_{pt}$
	درجة أولى	$0.60\ f_{pt}$	$1.1 f_{pc}$	$1.0\ f_{pt}$
لحام زاوي	عادي جيد	$0.4\ f_{pc}$		
	درجة أولى	$0.45\ f_{pt}$		

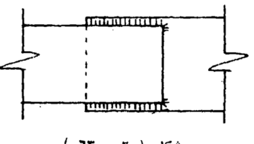
هذا ، وإذا ضمت وصلة نوعين من اللحام كما في الوصلة المبينة في شكل (٢ - ٦٢) فإن الجهود المسموح بها لجميع خطوط اللحام هي تلك المسموح بها للحام الزاوي .



شكل (٢ - ٦٢)

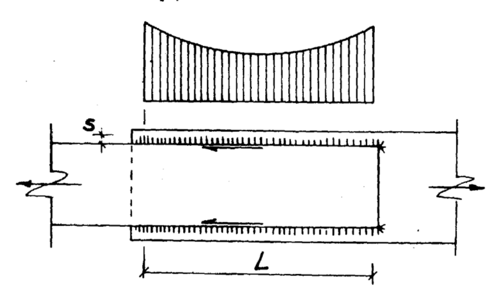
ملاحظات في شأن اللحام :

١ - يجب أن يلتف خط اللحام حول نهاية الجزء الملحوم شكل (٢ - ٦٣)



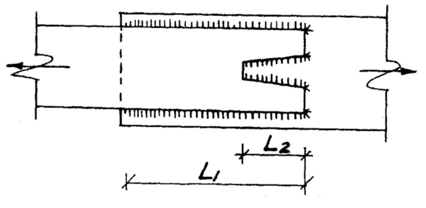
شكل (٢ - ٦٣)

٢ ـ يفترض في اللحام الزاوي أن جهود القص توزع بانتظام لكنها في الحقيقة ليست كذلك (مثل ما هو حادث في حالة المسامير) حيث يكون الجهد أعلى في النهايتين منه في الوسط (شكل ٢ ـ ٦٤) ولذلك ـ مثل ما هو حادث في حالة المسامير ـ يحدد طول خط اللحام الزاوي بالنسبة إلى مقاسه . فيجب ألا يزيد الطول على ٦٠ مرة مقاس اللحام أي $L \ngtr 60\,s$.



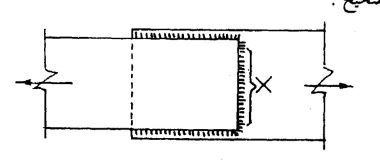
شكل (٢ ـ ٦٤) ـ التوزيع الفعلي للجهود في اللحام

من أجل ذلك يلجأ إلى اللحام النافذ لتقصير طول خط اللحام (شكل ٢ - ٦٥) .



شكل (٢ - ٦٥)

٣ - لا ينصح بلحام نهاية اللوح بالإضافة إلى جانبه حيث أن المعقول ألا يعمل لحام النهاية إلا بعد أن يكون اللحام الجانبي قد أخفق ، والعكس صحيح .



شكل (٢ - ٦٦)

٤ - إذا تعرض خط اللحام لجهود عمودية مصحوبة بجهود قص كما في خط اللحام الملاصق للعمود في شكل (٢ - ٦١) وجب ألا تزيد الجهود الأساسية فيه عن الجهود المسموح بها في خطوط اللحام .

حساب الوصلات الملحومة ، باعتبار الدرجة العادية للحام

أولاً - اللحام التقابلي :

أ ـ في حالة الشد :

إذا كان مقاس اللوح $(b \times t)$ فإن مقدرة اللحام لا تساوي إلاّ :

$$S_w = b \times t \times 0.7\, f_{pt} \qquad (2-7)$$

وعلى هذا يجب ألا تزيد القوة في اللوح الملحوم على S_w . فإذا كان المراد نقل مقدرة اللوح كلها ، كان ذلك بإحدى طريقتين :

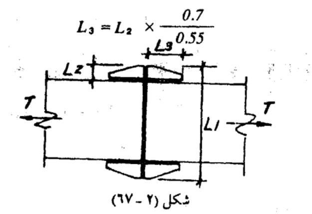
آ ـ إضافة لوحين تطابقيين كما في شكل (٢ ـ ٦٢) ، وفي هذه الحالة يشترك خطا لحام من نوعين مختلفين ، وينخفض الجهد المسموح به في اللحام التقابلي إلى $0.4\, f_{pt}$.

ب ـ إضافة لوحين جانبيين ؛ وفي هذه الحالة تكون خطوط اللحام كلها تقابلية ويكون :

$$L_1 = \frac{b \times t \times f_{pt}}{0.7 \times t \times f_{pt}} = \frac{b}{0.7}$$

وتكون الجهود في خط اللحام L_3 جهود قص ويكون طولها :

$$L_3 = L_2 \times \frac{0.7}{0.55}$$



شكل (٢ ـ ٦٧)

ب ـ في حالة الضغط :

لا تنقص مقدرة اللوح لأن الجهد المسموح به في خط اللحام الواقع تحت ضغط هو الجهد نفسه المسموح به للّوح المضغوط .

حـ ـ في حالة القص

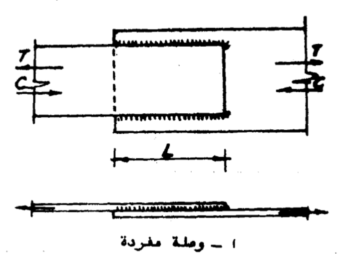
الجهود المسموح بها في خط اللحام هي $0.55 f_{bt}$ بينما هي في ألواح الجذوع $0.6\ f_{bt}$ والفرق يمكن معالجة خط اللحام لمقاومته .

ثانياً ـ اللحام الزاوي :

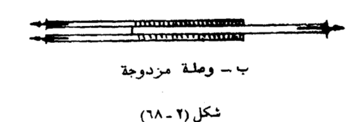
١ ـ الوصلة المفردة (شكل ٢ ـ ٦٨أ)

$$T \text{ or } C = 2 \times L \times s \times 0.4\ f_{bt} \qquad (2-8)$$

وعادة يفرض المقاس s ، (الذي يجب ألا يزيد على سمك اللوح المراد لحامه) . ومن المعادلة (8-2) نحصل على طول خط اللحام L



ا ـ وصلة مفردة



ب ـ وصلة مزدوجة

شكل (٢ ـ ٦٨)

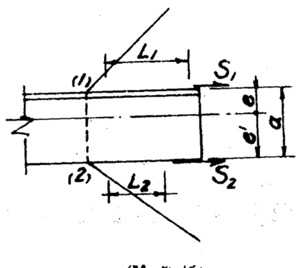
٢ ـ الوصلة المزدوجة (شكل ٢ ـ ٦٨ ب) :

$$T\ or\ C = 4 \times L \times s \times 0.4\ f_{p1} \qquad (2\text{-}9)$$

٣ ـ وصلة عضو مقطعه زاوية :

نظراً لأن مركز ثقل الزاوية ليس في منتصف الرجل فإن القوة (S_1) تكون أكبر من (S_2) وبذلك يكون خط اللحام (L_1) أطول من (L_2) شكل (٢ ـ ٦٩) .

وإذا أُريدَ أن يكون طول الخطين واحداً أمكن تغيير مقاس اللحام s بجعله أصغر عند (2) :



شكل (٢ ـ ٦٩)

$$S_1 = \frac{S \times e'}{a}$$

$$S_2 = \frac{S \times e}{a}$$

$$S_1 = 0.4\ f_{p1} \times s_1 \times L_1$$

$$S_2 = 0.4\ f_{p1} \times s_2 \times L_1$$

$$s_2 = s_1 \times \frac{S_2}{S_1}$$

الفصل الثالث

الجمال الفولاذية

(Steel Trusses)

مقدمة

من المسلم به أن هناك علاقة بين عمق الكمرة وفتحتها أو مجازها فكلما اتسعت كلما تطلبت الكمرة عمقاً أكبر . والمطلب الأساسي في الحقيقة هو عزم العطالة* حيث أن المعادلة التي تحدد العلاقة بين عزم الحني والجهد الحادث في المقطع هي :

$$f = \frac{M.y}{I} = \frac{M}{Z} \qquad (3\text{-}1)$$

وإذ يستتبع زيادة الفتحة كبر عزم الحني ؛ فلكيْ يحتفظ بالجهد في الحدود المصرح بها يجب أن تزداد *(Z)* .

وليس الجهد هو الحكم الوحيد في تصميم الكمرات فإنه يُطلب ألا يزيد سهم الانحناء على حدود معينة حددتها اموصفات كالآتي بالنسبة للفتحة

المباني	١ : ٤٠٠
كباري الطرق	١ : ٨٠٠
كباري سكة الحديد	١ : ٩٠٠

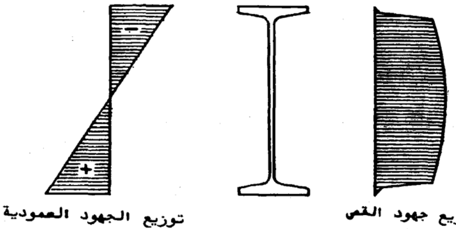
لذلك حددت بطريقة عملية أن تكون نسبة عمق الكمرة إلى فتحتها من ١ : ١٢ إلى ١ : ٨ (متوسطها ١ : ١٠)

* القصور الذاتي

ويمكن في اختيار المقاطع ، بل يفضل ، استخدام المقاطع الجاهزة سواء أكانت مقاطع I عادية أم I عريضة الشفة حيث أنها أوفر في التشغيل . وبدراسة مقطع الكمرة I يتضح أنه لا يعمل بكامل طاقته في جميع أجزائه . فإنه يتضح أن شفتي المقطع تقاومان نحو ٨٥٪ من عزم الحني الذي يتعرض له ويقاوم الجذع ١٥٪ منه فقط .

كما يتضح أن جذع المقطع يقاوم نحو ٩٧٪ من قوة القص التي يتعرض لها المقطع ولا تكاد الشفتان تقاومان شيئاً من القص .

من ذلك يتبين أن الكمرة البسيطة التحميل لا تحتاج إلى كثير من الجذع في جزئها الأوسط كما لا تحتاج إلى الشفتين نحو طرفيها .



توزيع جهود القص — توزيع الجهود العمودية

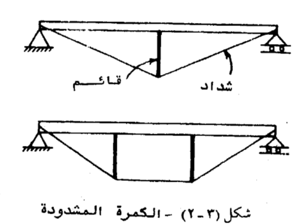
شكل (٣ - ١) ـ توزيع الجهود في مقطع كمرة

وكلما زاد عمق الكمرة كلما قلت الحاجة إلى المادة في منطقة الجذع . وقد مرت الكمرة في مراحل كثيرة عندما تعدت قيمة Z المطلوبة أكبر قيمة في جداول الكمرات . هذا بالاضافة إلى أنه بزيادة العمق يمكن التوفير في المادة التي تستخدم في الشفتين بشرط عدم المبالغة في عمق الجذع .

ومن الكمرات العميقة المبنية الأشكال التالية :

١ ـ الكمرات المشدودة *(Trussed Beam)*

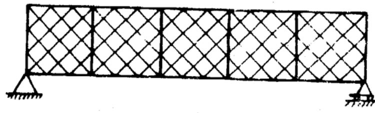
حيث يزداد العمق بإضافة شداد للكمرة يكون عضو شد وتقل عزوم الانحناء في الكمرة إلى درجة كبيرة ، وتتعرض الكمرة ، بالإضافة إلى عزم الحني ، إلى قوة ضغط مناسبة لقوة الشد في الشداد .



شكل (٣ ـ ٢) ـ الكمرة المشدودة

٢ ـ الكمرات الشبكية *(Latticed Beam)* .

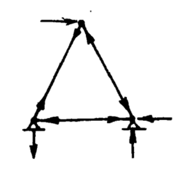
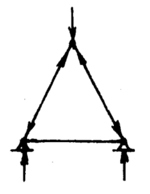
الكمرة مكونة من شفتين ، بينما الجذع عبارة عن شرائح أو مقاطع تي متقاطعة على هيئة أقطار (شكل ٣ ـ ٣) .



شكل (٣ ـ ٣) ـ كمرة شبكية

٣ ـ الجمالونات :

الجمالون كمرة شبكية مكونة من أعضاء تتقابل بعضها مع بعض في نقط على هيئة مفصلات مكونةً مثلثات . وتوضع الأحمال على الجمالون عند نقط التقابل بحيث أنها تحدث في الأضلاع قوى محورية . والمثلث هو الشكل الهندسي الذي يحتفظ بزواياه تحت تأثير الأحمال التي تؤثر عند إحدى عقده أياً كان اتجاه تلك الأحمال (شكل ٣ ـ ٤) .

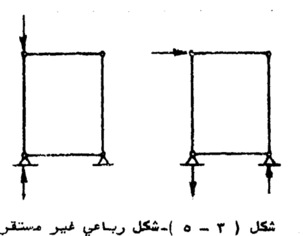
شكل (٣ ـ ٤)ـ مثلث مستقر

بينما الشكل الرباعي الذي يلي المثلث في عدد الأضلاع لا يستقر (شكل ٣ ـ ٥)إلاّ إذا :

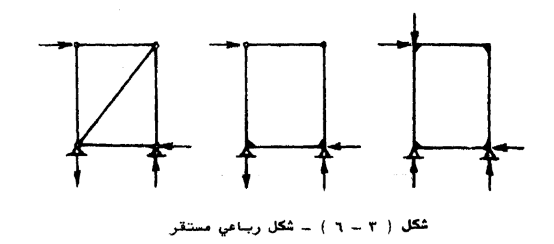
آ ـ **كانت كل عقده ـ أو على الأقل اثنتان منها ـ جسيئة . وفي هذه الحالة تتعرض كل اضلاعه أو بعضها لعزوم حني ، بالإضافة إلى القوى المحورية (شكل ٣ ـ ٦ أ) .**

ب ـ أضيف له عضو (قطر) فتحول إلى مثلثين ، وبذلك يمكن أن تكون نقط تقابل أعضائه مفاصل ولا تؤثر في أعضائه سوى قوى محورية .

ولما كان الجمالون مكوناً من مجموعة من المثلثات فإنه يحتفظ بشكله الهندسي تحت تأثير الأحمال والقوى الخارجية . وعندما تؤثر هذه القوى عند نقط تقابل الأعضاء (العقد) فإن الأعضاء تتعرض لقوى محورية .



شكل (٣ ــ ٥)-شكل رباعي غير مستقر



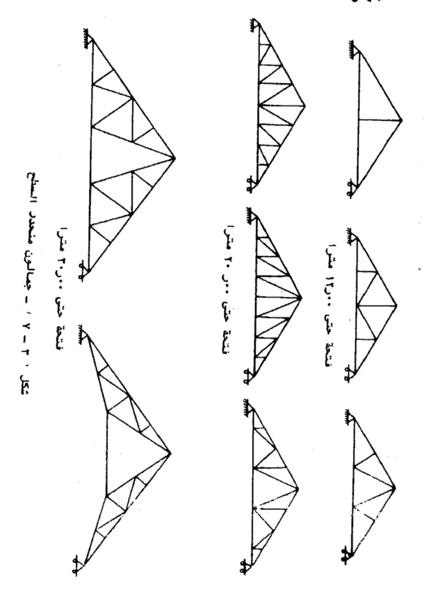
شكل (٣ ــ ٦) ـ شكل رباعي مستقر

وتمتاز الجمال على الكمرات الشبكية في أنها تأخذ أي شكل ليناسب ظروف الطبيعة وظروف الموقع والهيئة المعمارية .

أنواع الجمالونات :

أولاً ـ الجمالونات ذات السطح المنحدر (*Pitched Roofs*) ويتراوح ميل السطح بين ١ :٣ و ١ :٢ ومنها الأنواع التالية :

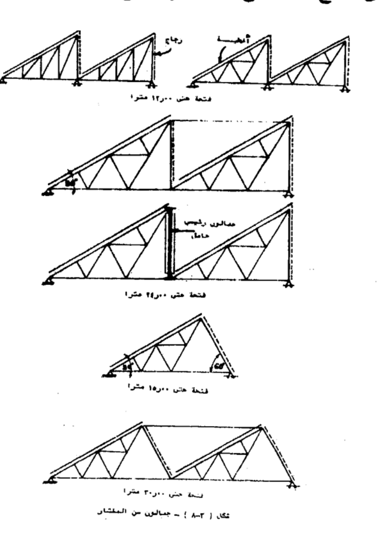
آ ـ الجمالونات المتماثلة :



شكل ٣ - ٢ / ٢ - جمالون منحدر السطح

ب ـ جمالونات سن المنشار *(Saw-tooth)*

وفيها يميل أحد السطحين بزاوية قدرها ٣٠° ويكون السطح الآخر إما رأسياً وإما متعامداً مع السطح الآخر ليصنع زاوية قدرها ٦٠° مع الأفقي . ويكون ذلك السطح متجهاً نحو الشمال للاستفادة من الإضاءة الطبيعية . ويغطى السطح الأول بألواح ، بينما يغطي السطح الآخر بالزجاج .



شكل (٣-٨) ـ جمالون سن المنشار

ثانياً - الجمالونات ذات السطح المنبسط (Flat Roofs)

وفيها يميل السطح بين ١ : ١٠ و ١ : ٨ ومنها الأنواع التالية :

آ - الوتر السفلي أفقي

L

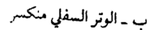
N- Truss($h = \frac{L}{12} - \frac{L}{8}$)

Warren Truss

مع إلغاء بعض القوائم-Warren

الطرفان مغطيان بزجاج-Warren

شكل (٣ - ٩)-الوتر السفلي افقي مستقيم



ب ـ الوتر السفلي منكسر

فتحة حتى ٣٠ر٠٠ مترا

حتى ٤٠ر٠٠ مترا

حتى ٦٠ر٠٠ مترا

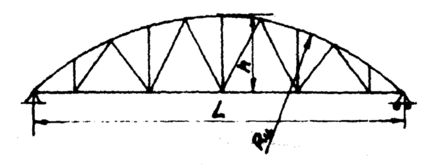
شكل (٣ ـ ١٠) ـ الوتر السفلي منكسر

ثالثا ـ الجمالونات ذات السطح المقوس (Curved Roofs)

١ ـ الوتر السفلي مستقيم (شكل ٣ ـ ١١أ)

ويؤخذ نصف قطر تقوس الوتر العلوي :

$$R_u = \frac{h}{2} + \frac{L^2}{8h}$$

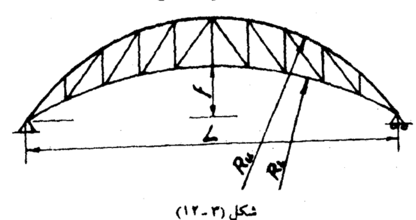


شكل (٣ ـ ١١)

٢ ـ الوتر السفلي مقوس (شكل ٣ ـ ١٢)

ويؤخذ نصف قطر تقوس الوتر السفلي :

$$R_l = \frac{f}{2} + \frac{L^2}{8f}$$

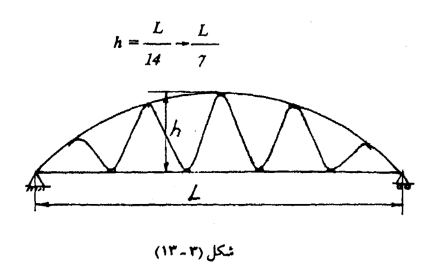


شكل (٣ ـ ١٢)

٣ ـ العَقد ذو الشداد (شكل ٣ ـ ١٣)

ولا يُلتزم فيه بتحميل المدادات عند العقدوتصل الفتحة إلى ٨٠ متراً .
ويؤخذ عمق الجمالون مساويا :

$$h = \frac{L}{14} \rightarrow \frac{L}{7}$$



شكل (٣ ـ ١٣)

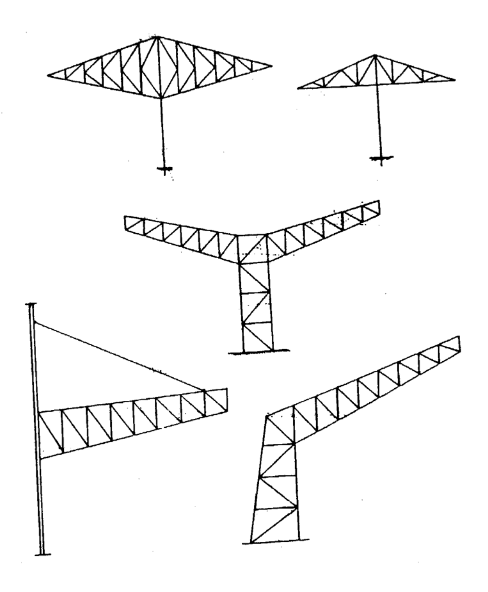
رابعا ـ الكابولات *(Cantilevers)*

والكابولي ذراع يمتد إما من جهة واحدة من حامله وإما من جهتين،
(شكل ٣ ـ ١٤).

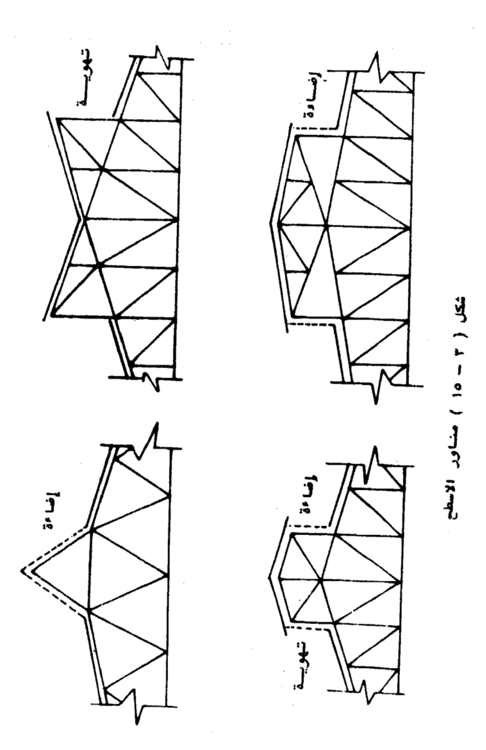
المنور (الشخشيخة) *(Monitor or Skylight)*

وهي فتحة مغطاة في السطح ، (شكل ٣ ـ ١٥) لأحد
غرضين أو لكليهما :

آ ـ التهوية .
ب ـ الإضاءة .



شكل (٣-١٤) - الجمال الكابولية



شكل (٣ - ١٥) مناور الاسطح

اختيار نوع الجمل

لاختيار نوع الجمل أو شكله تدرس النقط التالية ، بالإضافة إلى اختيار الشكل المعماري ، الذي يكون سابقاً للدراسة الإنشائية ، وبعد تحديد فتحة الجمل وغالباً ما تكون في الاتجاه القصير للمساحة المطلوب تغطيتها :

أ ـ شكل الوتر العلوي (ميل السطح) .

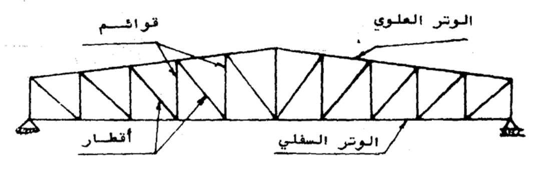
ب ـ شكل الوتر السفلي .

حـ ـ عمق الجمل .

د ـ مقاس العقلة على الوتر العلوي .

هـ ـ ترتيب أعضاء الجذع

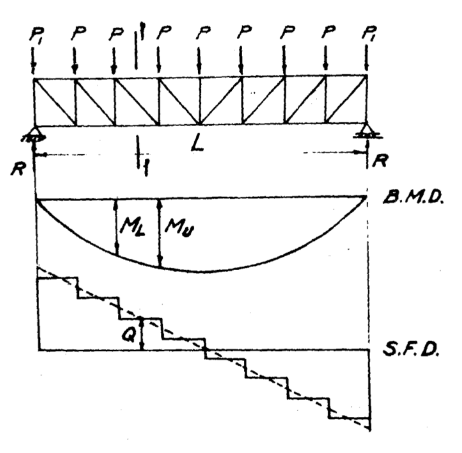
يتكون الجمل بوصفه كمرة شبكية من وترين (يناظران الشفتين في الكمرة) ومن أعضاء الجذع (تناظر جذع الكمرة) . وأعضاء الجذع عبارة عن أقطار أو أقطار وقوائم .



شكل (٣ - ١٦)

ولعل من المناسب في هذا المجال أن ندرس التصرف الإنشائي الجمل . فمن تناظر الوترين مع شفتي الكمرة يمكن القول إن الوترين يقاومان عزم الحني ، ومن تناظر أعضاء الجذع مع جذع الكمرة يمكن القول بأن أعضاء الجذع تقاوم قوى القص .

ولبيان ذلك ندرس جملاً في أبسط صوره وهو الجمل المتوازي الوترين (شكل ٣ - ١٧) .

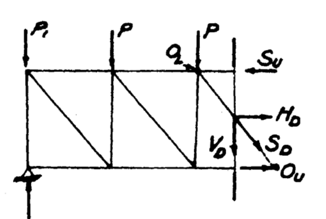


شكل (٣ - ١٧)

فلحساب القوة في العضو الثالث من الوتر العلوي مثلاً ، نأخذ مقطعاً آ - آ ليقطع ثلاثة أضلاع ، ثم نفصل الجزء الذي على يساره (أو الذي على يمينه) وندرس استقراره (شكل ٣- ١٨) . وتؤثر على ذلك الجزء المنفصل قوى (أحمال) خارجية من الواضح أنها ليست متزنة .

وتتزن هذه القوى تحت تأثير قوى داخلية في الأعضاء (ظهرت عند قطع الأعضاء) ، وهذه القوى محورية . أي أن العضو لا يتحمل قوى في غير ذلك الاتجاه :

آ ـ تتزن القوى الرأسية بقوة رأسية لا يمكن أن تكون إلاّ المركبة الرأسية V_D للقوة S_D في القطر .



شكل (٣ ـ ١٨) ـ الجزء المفصول من الجمل

ب ـ ما دامت هناك قوة في القطر فلا بدّ لها من مركبة أفقية H_D ، وعندئذ لا بدّ من اتزانها مع قوة أو قوى أفقية . وهي لا محل لها إلاّ في الوترين المقطوعين .

حـ ـ للحصول على القوة الرأسية V_D نساوي القوى الرأسية بالصفر $\Sigma_V = 0$ وهذه العملية هي في الواقع حساب قوة القص عند مقطع في الكمرة المناظرة . ومن هنا جاء القول إن القوة في عضو الجذع تحسب من قوة القص في منتصف البانوه .

وتكون القوة في القطر : $S_D = + \frac{V_D}{Sin\ \alpha}$

د ـ للحصول على القوة في الوتر العلوي نأخذ العزوم حول O_u ، نقطة تقاطع الضلعين الآخرين وتسمى هذه النقطة قطب الوتر .

هـ ـ للحصول على القوة في الوتر السفلي نأخذ العزوم حول (O_l) نقطة تقاطع الضلعين الآخرين .

وهاتان العمليتان هما في الواقع أخذ عزوم الحني في الكمرة المناظرة . ومن هنا جاء القول أن القوة في الوتر تحسب من عزم الحني عند قطب الوتر .

و ـ نظراً لوقوع القائم عن نقطة انكسار بياني القص فإن أحسن طريقة لحساب القوة في قائم هي القول بأنها تساوي مركبة القوة في اتجاه القائم في القطر الذي يقابل ذلك القائم في عقدة غير محملة . ففي الرسم، القوة في القائم الثالث هي المركبة الرأسية للقوة في القطر الثاني .

من الحقائق السابقة يمكن استخلاص ما يلي :

١ ـ القوى في الأوتار تتناسب عكسياً مع عمق الجمل .

٢ ـ القوى في الأوتار تزداد كلما اتجهنا نحو منتصف الجمل .

٣ ـ القوى في الأقطار تتناسب عكسياً مع زاوية ميل القطر .

٤ ـ القوى في الأقطار تنقص كلما اتجهنا نحو منتصف الجمل .

٥ ـ القوى في القوائم تنقص كلما اتجهنا نحو منتصف الجمل .

٦ ـ القوى في الوتر العلوي هي قوى ضغط وفي الوتر السفلي قوى شد .

٧ ـ القوى في الأقطار التي تميل كما في الشكل هي قوى شد ولو انعكس اتجاه ميلها لأصبحت القوى قوى ضغط .

٨ ـ القوى في القوائم هي قوى ضغط ولو انعكس اتجاه ميل الأقطار لأصبحت القوى في القوائم قوى شد .

وتطبيقاً على ما تقدم نصل إلى النتائج الآتية :

١ ـ بالنسبة للقوى في الأوتار يحسن أن يزداد عمق الجمل .

٢ ـ بزيادة عمق الجمل يزداد طول أضلاع الجذع ، أي أن المادة المطلوبة

لها تزداد . وفي الوقت نفسه يزداد مقطعها لأن منها ما هو أعضاء ضغط ؛ فهذه زيادة أخرى في المادة المطلوبة .

إذن فلا بدّ أن هناك عمقاً اقتصادياً للجمل حيث يكون الوزن أقل ما يمكن وقد أوضحت الدراسات أن هذا العمق يتراوح بين $\frac{1}{12}$ و $\frac{1}{8}$ من الفتحة وأن الرقم $\frac{1}{10}$ يعتبر مناسباً . ويلاحظ أنه يمكن تقليل العمق عند الطرفين وبهذا يُعطي السطح انحداراً من المنتصف نحو الطرفين ، وهو أمر مطلوب عملياً ، وهو ما عبرنا عنه بميل السطح .

والآن نشرح العوامل التي تؤثر في اختيار الجمل :

أولاً ـ ميل السطح

يتوقف ميل السطح على عاملين :

أ ـ مادة التغطية .

ب ـ شدة الأمطار .

أ ـ مادة التغطية

١ ـ بُدئ قديماً بتغطية الأسطح بالقرميد الأحمر وقد انتهى استخدامه منذ زمن طويل وشبيه بذلك التغطية بألواح الأردواز .

٢ ـ أما التغطية بالخشب فتعتبر غير مناسبة بسبب عدم قدرة الخشب على مقاومة الأحوال الجوية من بلل وجفاف مما يعرضه للتقوس والتشقق وأخيراً للعفن .

ويمكن تغطية سطح خشبي بمادة عازلة مثل لفائف البتومين . وهي عبارة عن خيش (نسيج قنب) مكسو بالبتومين ليعطي طبقة سمكها نحو ٣ ـ ٤ مم .

٣ ـ تلا ذلك في الاستعمال ألواح الصاج المجلفن المموجة :

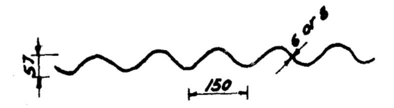
(Galvanized corrugated steel sheets) وهي ألـواح من الصلـب المطلي بطبقة من الزنك بطريق الغمس الساخن مما يجعله قادراً على مقاومة عوامل الصدأ .

٤ ـ ثم استخدم من عهد قريب ألواح مموجة من الأسبستوس . (الإترنيت) *(Corrugated asbestos sheets)*

وهـي مصنوعــة من عجينــة من مونــة أســمنتية مخلــوط بهــا ألياف الأسبستوس . وتعطيها هذه الألياف ميزتين :

أ ـ زيادة مقدرة الألواح على مقاومة الشد .

ب ـ تُعطي الألواحَ بعض العزل الحراري .



شكل (٣ ـ ١٩) ـ مقطع في لوح ايترنيت

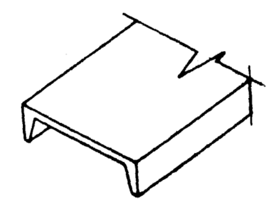
وتكبس المونة إلى سمك ٦ مم (وسمك ٨ مم وهو غير شائع) إلى ألواح مموجة عرضها ٧٥ سم وطولها يتراوح بين ٥ أقدام (١٢٥,٥ سم) و ٨ أقدام (٢٤٤ سم) وتموج الألـواح لزيادة عزم القصـور الذاتـي (عـزم العطالة) لمقاومة الجهود الناشئة عن عزم الحني .

وهذه الألواح أقدر على مقاومة الأحوال الجوية ولكنها سهلـة التـكسر وتنص مواصفاتها على عدم جواز المشي عليها مباشرة ولكن باستخدام ألـواح خشبية سميكة .

٥ ـ وتستخدم الخرسانة المسلحة لتغطية الأسطح عندما يطلـب ذلك بصفـة

خاصة وذلك لثقلها وإن كانت بالطبع أقدر على مقاومة العوامل الجوية . وينصح ألا يقل سمك البلاطة عن ٦ سم .

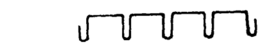
٦ ـ ويمكن استخدام ألواح سابقة الصب من الخرسانة الخفيفة قطاعها على شكل مجرى . ويقتضي استعمالها معالجة الفواصل بين الألواح لمنع تسرب مياه الأمطار . ويفضل تغطيتها بالخيش المقطرن .



شكل (٣ ـ ٢٠) ـ بلاطة مسبقة الصب

٧ ـ ويستخدم الزجاج في تغطية المناور وجوانب الجمالونات لأغراض الإضاءة الطبيعية ويكون بسمك ٤ أو ٦ مم حسب مقاس الألواح ويركب في إطارات من الصلب نظراً لكبر مساحتها فيما بين خطوط تحميلها .

٨ ـ تستخدم بعض البلاد الغنية ألواحاً من الصلب غير القابل للصدأ وقطاعها متعرج وليس مموجاً . ويغطى السطح بطبقات عازلة من اللباد المقطرن يدهن بالبتومين (الزفت) .

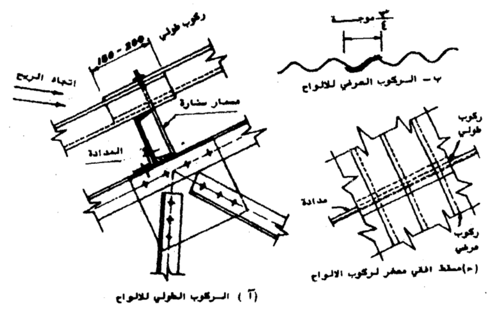


شكل (٣ ـ ٢١) ـ مقطع لوح تغطية من صلب لا يصدأ

ب ـ شدة الأمطار :

كلما كان سطح مادة التغطية خشناً أو ذا نتوءات كلما زاد ميل ذلك السطح لكي يسمح بالصرف السريع لمياه الأمطار .

ولنرسم الآن وصلة لألواح الاترنيت على سطح جمل



شكل (٢ – ٢٢) ـ تركيب الالواح المموجة

فالملاحظ أن ركوب الألواح بعضها على بعض ولا سيما الركوب الطولي غير محكم . فكلما كان المطر غزيراً وكلما كانت الريح شديدة وخصوصاً في اتجاه فتحات الوصلات كلما زدنا ميل السطح خوفاً من تسرب مياه الأمطار عكس اتجاه الميل . ففي المناطق الجافة قد يكفي أن يكون الميل ١ ÷ ٢٠ وفي

المناطق الممطرة لا يقل الميل عن ١ ÷ ١٠ وفي المناطق الغزيرة الأمطار يزداد الميل إلى ١ ÷ ٨ وقد يصل إلى ١ ÷ ٥ .

وقد زيد الميل في المناطق المعرضة لتساقط الجليد حتى وصل إلى ١ ÷ ٢ ولكن المباني المزودة بوسائل التدفئة وبأسطح مغطاة بالطبقات العازلة أصبحت ميول أسطحها بسيطة (١ ÷ ٢٠) .

ثانياً ـ شكل الوتر السفلي :

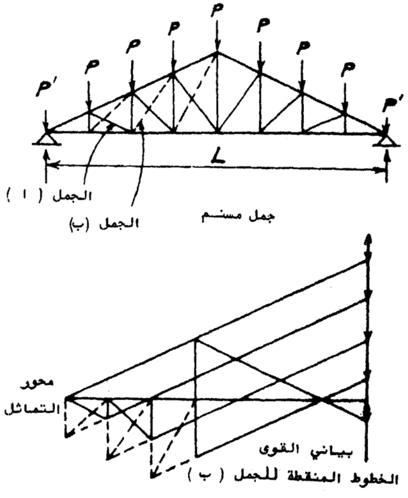
قد يكون الوتر السفلي أفقياً* وقد يأخذ أي انحناء أو استدارة يراها المعماري . وتنفيذ ذلك في الجمالونات أمر متيسر حيث يمكن تكسير خط الوتر السفلي عند العقد .

ثالثاً ـ عمق الجمل :

سبق أن أوضحنا أن عمق الجمل المتوازي الوترين يتراوح بين ١/١٢ و ١/٨ من الفتحة وأن رقماً معتاداً هو ١/١٠ الفتحة . ويسري هذا أيضاً على الجمال ذات السطح المنبسط . إما الجمال ذات السطح المنحدر فإن عمقها في الوسط يكون عادة كبيراً ، إذ يتوقف على الميل المختار للسطح والذي لا يقل عن ١ : ٢ ؛ وكذلك الجمال ذات السطح المنحدر ، إلا أن القوى في الأعضاء تختلف في هذه الجمال عنها في الجمال ذات السطح المنبسط ، كما يتضح من الدراسة التالية .

١ ـ برسم مخطط القوى للجمل يتضح ما يلي :

* يُعطى الوتر السفلي تقوساً إلى أعلى ليعكس ما يحدث للجمل من سهم انحناء عندما يكون الوتر السفلي أفقياً .



شكل (٣ - ٢٣) - تغيير بياني القوى بتغيير اتجاه الأقطار

أ - القوى في الأوتار العليا والسفلى تنقص كلما اتجهنا نحو منتصف الجمل ، ويلاحظ أن هذا راجع إلى ازدياد العمق من الركيزة نحو المنتصف .

ب - القوى في الأقطار وكذلك في القوائم تتزايد كلما اتجهنا نحو منتصف الجمل .

حـ - الأقطار التي اتجاهها كما في الجمل أ (شكل ٣ - ٢٣) هي أضلاع ضغط بينما القوائم أضلاع شد .

٢ ـ إذا عكسنا اتجاه الأقطار كما في الجمل ب نلاحظ ما يلي :

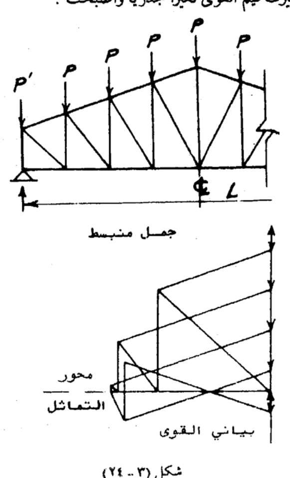
إ ـ القوى في الأوتار العليا أكبر منها أولاً (ما عدا الوتر الأول)

ب ـ القوى في الأوتار السفلي أصغر منها أولاً (ما عدا الوتر الأول)

حـ ـ القوى في الأقطار تنعكس إلى شد . ولكن قيمتها أكبر منها أولاً .

د ـ القوى في القوائم تنعكس إلى ضغط ولكن قيمتها أكبر منها أولاً (فيما عدا القائم الأوسط فالقوة به صفر) .

٣ ـ ويلاحظ أنه لو أعطى الجمل ارتفاعاً عند الركزتين كما في شكل ٣ ـ ٢٤ لتغيرت قيم القوى تغيراً جذرياً وأصبحت :



شكل (٣ ـ ٢٤)

آ ـ القوى في الأوتار ـ ولاسيا قرب الركيزتين ـ أصغر بدرجة كبيرة .

ب ـ القوى في الأقطار تتغير فتُصبح أحياناً شدا والبعض الآخر ضغطاً ويحدث عكس ذلك في القوائم .

وبما استنتج من مقارنة مضلعي القوى للجملين (أ) و(حـ) يمكن القول بأنه يستحب زيادة العمق عند طرفي الجمل . وفي الواقع أن الشكل (أ) لا يستعمل إلاّ إذا كان الجمل مرتكزاً على حائطين من المباني أو على عمودين من البيتون المسلح . وسنرى فيما بعد أن (نقطة) الركيزة لا وجود لها في الطبيعة .

أما إذا كان الجمل محمـلاً على عمودين من الفولاذ فإنه يصبح من المستحب زيادة العمق عند العمودين ، ويتم ذلك بإضافة (ركبة) عند كل عمود ، الغرض منها في الحقيقة تخفيف الجهود على العمود كما سيأتي الحديث عنه في حينه .

شكل (٣ ـ ٢٥) ـ سند العمود بركبة

رابعاً ـ مقاس البانوه (طول العقلة على الوتر) *(Panel length)*

المعتاد في المباني الصناعية أن يكون الوتر العلوي هو الوتر المحمل حيث يركب عليه غطاء السطح . أما في المباني ذات الصبغة المعمارية فيطلب تغطية أسفل الجمال مكونا سقف المبنى .

ويتأثر ترتيب الكمرات ـ ثانوية ورئيسية ـ في الأسقف بنوع مادة

التغطية وطبيعتها أي على قدرتها على التحمل ، ومقدار الفتحة التي يمكن أن تجتازها ، مع الأخذ في الاعتبار كثافة مادة التغطية ونوع الحمل الحي الواقع عليها وطبيعته .

فمثلاً قد يمكن استخدام الجمال على هيئة كمرات وحيدة ويغطى سطحها ببلاطة من الخرسانة المسلحة لكن هذا يلاقي الاعتراضات الآتية :

آ ـ أنه من غير المرغوب فيه تحميل أوتار الجمال تحميلاً مباشراً .

ب ـ أنه لكي يكون سمك البلاطة الخرسانية معقولاً حتى يكون وزن الحمل الميت قليلاً يجب أن يكون بحر البلاطة صغيراً : مترين أو نحو ذلك أي أن عدد الجمال سيكون كبيراً . وبذلك يكون المشروع مكلفاً .

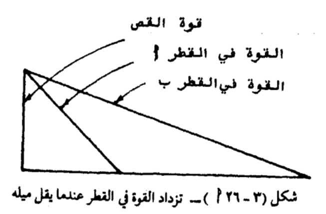
لذلك نلجأ إلى استخدام كمرات ثانوية تحمل غطاء السطح وترتكز على الجمال عند العقد . هذه الكمرات تسمى المدادات *(Purlins)* . وتحدد المسافة بين المدادات ـ أي المسافة بين العقد ـ حسب نوع مادة التغطية وطبيعتها وهذه المسافة لا تزيد عادة على مترين . هذا إذا أريد طبعاً ألا يكون تحميل مباشر على الوتر .

خامساً ـ ترتيب أعضاء الجذع :

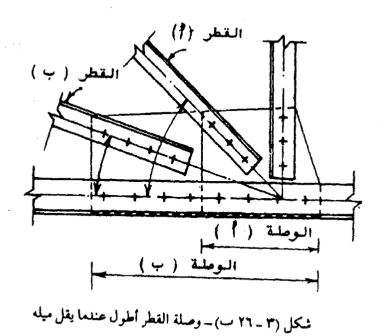
يدخل في تحديد مقاس البانوه مقدار الزاوية التي تصنعها الأقطار مع الأوتار ويفضل أن تتراوح زاوية الميل بين ٤٠° و ٥٥° ، فكلما صغرت زاوية الميل كلما زادت مساحة الوصلة عند العقدة لسببين :

آ ـ أن القوة في القطر تكون أكبر :

ب ـ أن رباط القطر يكون أطول :

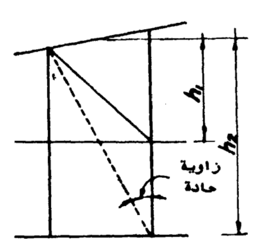


شكل (٣ - ٢٦ أ) ـ تزداد القوة في القطر عندما يقل ميله



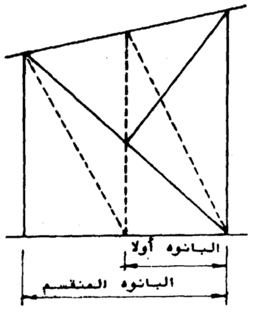
شكل (٣ - ٢٦ ب) ـ وصلة القطر أطول عندما يقل ميله

وما يسري على الزاوية الصغيرة مع الوتر يسري على الزاوية الكبيرة ، حيث ستكون الزاوية مع القائم صغيرة وبذلك تكبر الوصلة في الاتجاه الرأسي . ويتحكم في هذه الزاوية أيضاً عمق الجمل فكلما زاد العمق كبرت الزاوية مع الوتر ونقصت مع القائم :

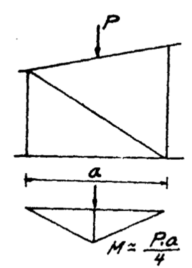


شكل (٣ ـ ٢٦ حـ) ـ ازدياد زاوية القطر بازدياد العمق

وتعالج هذه الصورة بتكبير البانوه ثم تقسم العقلة تقسيماً متوسطاً ، وهذا ما يسمى بالبانوهات المنقسمة *(Subdivided panels)* : والواضح من هنا هو تحميل المدادة عند عقدة كما في شكل (٣ ـ ٢٦ ء) حيث تحدث قوى عمودية في الأعضاء و يمتنع عزم المحني الحادث في الوتر كما في شكل (٣ ـ ٢٦ هـ) .

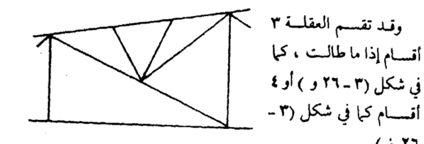


شكل (٣ ـ ٢٦ د) ــ بانوه معاد تقسيمه

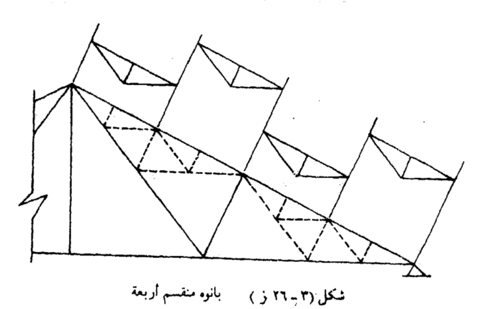


شكل (٣ ـ ٢٦ هـ) ـ عقلة محملة معرضة لعزم حني

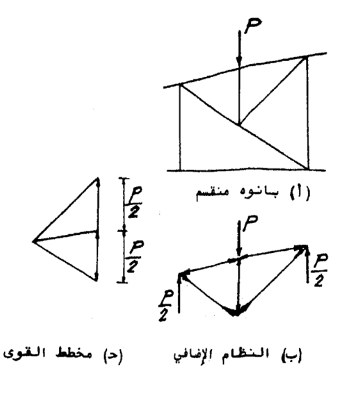
وقد تقسم العقلة ٣ أقسام إذا ما طالت ، كما في شكل (٣ ـ ٢٦ و) أو ٤ أقسام كما في شكل (٣ - ٢٦ ز) .



شكل (٣-٢٦و) ـ عقلة منقسمة ثلاثة

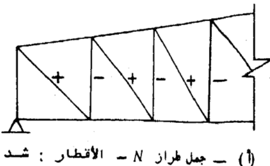


شكل (٣ ـ ٢٦ ز) بانوه منقسم أربعة

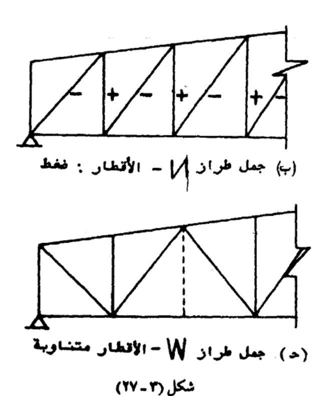


شكل (٣ – ٢٦ ح) – القوى الإضافية الناشئة عن تقسيم البانوه

وقد سبقت الاشارة إلى اتجاه ميل الأقطار وأنه من المفضل أن يكون الاتجاه بحيث تكون القوى فيها قوى شد وفي القوائم قوى ضغط ، نظراً لأن الأقطار أطول من القوائم كما في شكل (٣ - ٢٧ أ) الذي يمثل جمل طراز (N).



(أ) – جمل طراز N – الأقطار : شد



(ب) جمل طراز N - الأقطار : ضغط

(حـ) جمل طراز W - الأقطار متناوبة

شكل (٣ - ٢٧)

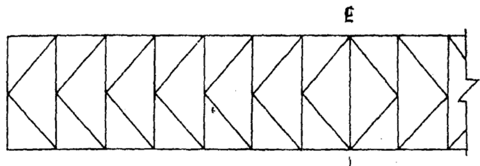
ولا تستحب ولا تستعمل الاقطار كما في شكل (٣ - ٢٧ ب) .

أما شكل(٣ - ٢٧ حـ)الذي يمثل جمل طراز *Warren Truss (W)* فهو شائع الاستعمال . وتعوض الزيادة في مادة الأقطارالتي تحت ضغط بالوفر في عدد القوائم وفي قطاعاتها .

الأقطار المزدوجة *Multiple- web systems*

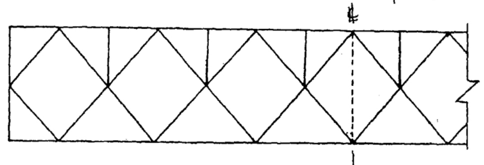
وهذه محاولة أخرى لتقليل طول البانوه عندما يزداد عمق الجمل ، كما في الحالات الآتية ، وهي غالباً ما تكون للجمال ذات الوترين المتوازيين :

أ - جمل طراز *(K)* - وهو مزود بقوائم عند كل العقد ، (شكل ٣ - ٢٨ أ) .



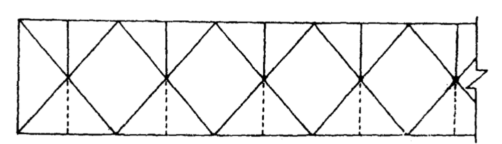
شكل (٣ - ٢٨ أ) — جمل طراز K

ب - جمل طراز المقص - وهو جمل ناقص استاتيكياً ويحتاج إلى عضو إضافي - إما قائم وإما مواز للوتر ، (شكل ٣ - ٢٨ ب) .



شكل (٣ - ٢٨ ب) — جمل طراز المقص — ناقص(دون القائم المنقط)

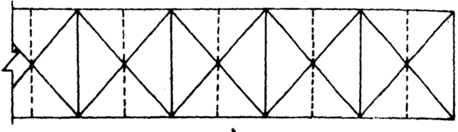
جـ - جمل طراز المقص غير محدد استاتيكياً مرة واحدة ، (شكل ٣ - ٢٨ حـ) .



شكل (٣ - ٢٨ حـ) — جمل طراز المقص — غير محدد مرة واحدة

د ـ جمل ذو أقطار متقاطعة ومزود بقوائم . وهو غير محدد استاتيكياً عدة مرات ، بعدد القوائم كلها ناقصاً واحداً . (شكل ٣ ـ ٢٨ د) .

وأغلب استخدامات هذه الأنواع الأربعة من الجمال هو في أربطة الريح في المنشآت ، سواء أكانت في المستوى الأفقي أم في المستويات الرأسية .

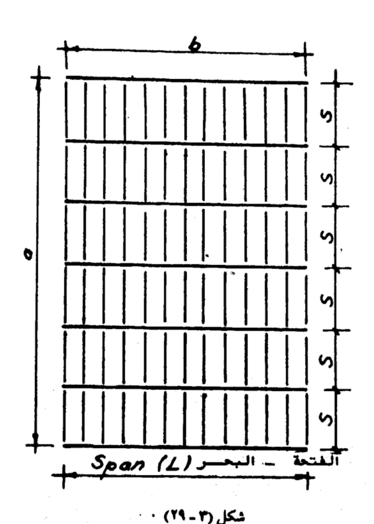


شكل (٣ ـ ٢٨ د) ـ جمل طراز الأقطار المتقاطعة ـ غير محدد

تقسيط جمالونات الأسقف : (Spacing of roof trusses: s)

لتغطية قطعة أرض مقاسها $b \times a$ توضع الجمال ـ في أغلب الأحيان ـ في الاتجاه القصير وبذلك يكون بحر الجمل (فتحته) $L = b$. ويقسم الاتجاه الطويل أقساماً متساوية عددها (n) مقاس القسم (s) وبذلك يكون $a = n.s$ ويكون عدد الجمال $(n + 1)$ كما في شكل (٣ ـ ٢٩)

وتمتد المدادات في الاتجاه الطولي وعددها يساوي عدد العقد في الجمل . ينتقل وزن غطاء السقف وما عليه من حمل حي إلى المدادات التي تصمم على اعتبارها كمرات ذات تحميل سيط ـ في الغالب ـ ثم ينتقل ذلك الحمل ، مضافاً إليه وزن المدادات ، إلى الجمال . ومعنى هذا أن كل جمل يحمل من السطح مسافة مقدارها (s) ، التي هي في الوقت نفسه مجاز المدادة . والواضح أنه عند ثبات شدة الحمل على السطح فإن عزم الحني للمدادة يزداد بزيادة مجازها (بنسبة تربيعية) وبالتالي يكبر القطاع اللازم للمدادة . ويوضح الرسم العدد



شكل (٣ ـ ٢٩) .

الكبير من المدادات التي يشتمل عليها السطح مما يجعل لأي زيادة في وزن المدادة تأثير كبير على وزن المنشأ المعدني .

إلاّ أنه في الوقت نفســه الـذي زاد فيه طول المدادة ، قلّ عدد الجمال المطلوبة ، ولكن صحب ذلك زيادة قيمة الأحمال الواقعة على الجمل الواحد ، وهذا يتطلب قطاعات أكبر لأعضاء الجمل ، أي أنه سيكون أثقل ، ولـكن هذا لا يعني أن الزيادة في الوزن تتناسب مع ازدياد المسافة بين الجمال .

وملخص هذا ، أنه بازدياد المسافة بين الجمال :

آ ـ يزداد وزن المدادات .

ب ـ يقل عدد الجمال المطلوبة .

حـ ـ يزداد وزن الجمل ولكن يقل الوزن الكلي للجمال .

د ـ هذا بالاضافة إلى أن حاملات الجمال سواء أكانت أعمدة من الخرسانة المسلحة أم من الفولاذ ، يقل عددها ، ويقل بالتالي عدد القواعد (الأساسات) ، وإن كانت الأحمال تزداد عليها .

وعلى ذلك فإن موضوع تقسيط الجمال يحتاج إلى دراسة مقارنة يدخل في حسبانها العوامل المشار إليها لتحديد المسافة بين الجمال التي تعطي الحل الاقتصادي ، آخذين في الاعتبار أنّ عملية الإنشاء تشمل ما يلي :

آ ـ المواد المستعملة .

ب ـ تشغيل أي تجهيز المواد المستعملة لتكوين أجزاء المنشأ المختلفة .

جـ ـ تركيب الأجزاء .

فالجمالونات مكونة من قطاعات مختلفة تقطع وتثقب وتجمع جزئياً في الورشة والباقي في الموقع ، أما المدادات فغالباً ما تكون من قطاعات جاهزة .

وتزيد تكلفة الأجزاء المجهزة على تكلفة الأجزاء الجاهزة بقيمة الزيادة في تكاليف التشغيل . وفي المتوسط يمكن أن يقال إن تكاليف المادة تساوي تكاليف تشغيلها وتركيبها .

ويراعي المقاول (المتعهد) هذه الفروق عند وضع أسعاره ، وعلى ذلك فإن دراسة المهندس للمشروع من جهة الاقتصاد في تكلفته يجب أن تشمل نوعية الأجزاء المكونة للمنشأ .

وقد أجريت دراسات أمكن منها استخلاص العلاقة التقريبية التالية بين فتحة الجمل وتقسيطه :

Span L (meters)	Spacing (s)
< 16.00	4.50 m
16.00 — 30.00	(1/4 — 1/5) L
> 30.00	تستدعي الدراسة

الأحمال على جمال الأسطح

الأحمال على جمال الأسطح إما رأسية وإما أفقية :

فالرأسية تشمل الأحمال الميتة والأحمال الحية والأحمال المتحركة وتأثيرها الديناميكي . والأفقية تشمل ضغط الريح والقوي الأفقية للأحمال المتحركة . كما أن هناك التأثيرات الحرارية .

أولاً ـ الأحمال الميتة (Dead loads)

اول ما يحمل أيّ جزء من منشأ وزنه الذاتي . ويحمل الجمل ، بالإضافة إلى وزنه الذاتي ، وزن الأجزاء المعدنية الأخرى كالمدادات والأربطة (شكالات الريح) ، ثم يحمل الجمل أغطية السطح عند الوتر العلوي ، كما يحمل عند الوتر السفلي أغطية السقف حيث توجد ، كما يحمل ما قد يوضع بين السطح والسقف من أنابيب ومجار للتدفئة أو لتكييف الهواء أو لتنقية جو المكان من غازات أو أتربة وكذلك مواسير نقل السوائل أو الغازات أو منتجات الصناعة . وكل ذلك يكون مرتباً ومجهزاً ومعروفة أماكنه وأوزانه قبل إجراء الحسابات الإنشائية :

١ ـ غطاء السطح (Roof Covering)

يُعطي وزن أغطية السطح بالكيلوجرام على المتر المربع من المساحة الفعلية للسطح .

وفي غياب بيانات محددة يمكن استخدام القيم التالية :

ألواح الصاج المجلفن	٢٥ ـ ٣٠ كج / م٢	}	شاملة الركوب
ألواح الاسبستس المموجة	١٧ ـ ٢٥ كج / م٢	}	ومسامير الربط
زجاج سمك ٤ مم	٢٥ كج / م٢	}	شاملة الإطارات
زجاج سمك ٦ مم مسلح	٤٠ كج / م٢	}	الخاصة بالزجاج
خرسانة مسلحة سمك ٦سم	١٥٠ كج / م٢		
خرسانة خفيفة (بلاطات)	٤٠ كج / م٢		شاملة الكسوة بالبيتومين
بلاطات القرميد	٧٥ كج / م٢	}	شاملة كمرات التحميل
ألواح الأردواز	٧٠ كج / م٢	}	الإضافية .

٢ ـ السقف :

ويكون في مستوى الوتر السفلي ويطلق عليه معمارياً السقف المستعار *(False Ceiling)* وهو بالإضافة إلى أن الغرض منه هو الزخرفة إلاّ أنه يكون دائماً سقفاً صوتياً *(Accoustic)* إذ تكون المواد المصنوع منها ماصة للصوت فلا يحدث له رنين . وأساس تكوينه الجبس يضاف إليه مواد تجعله خفيف الوزن وتعمل به ثقوب كثيرة نافذة .

وفي غياب بيانات محددة يمكن أن يؤخذ وزنه ٢٥ كج / م٢ من مساحته الفعلية .

٣ ـ الأنابيب والمواسير والمجاري التي توضع فيما بين الوترين السفلي والعلوي فتؤخذ بيانات أوضاعها وأوزانها من التصميم الميكانيكي .

٤ ـ وزن الأجزاء المعدنية *(Weight of steel structure)*

يشمل هذا الوزن الوزن الذاتي للجمال المعدنية مضافاً إليه ما تحمله

من مدادات ، كما يشمل أربطة الريح وكذلك وصلاتها وتوصيلاتها .

وإذا افترضنا أنه يمكن ، بسرعة ، حساب قطائع المدادة وأربطة الريح ، إلاّ أنه يبقى حساب الوزن الذاتي للجمل . ولا يمكن معرفة الوزن الذاتي مسبقاً ولكن يمكن تقديره بطريقة تقريبية وذلك من واقع دراسات سابقة لجمال مماثلة أو من واقع منشآت قائمة إذ يتوقف الوزن الذاتي للجمل ، كما يتوقف الوزن الذاتي للمدادة ، وكما يتوقف الوزن الذاتي لأي كمرة ، على ما يلي :

آ ـ فتحة المدادة (أو بحرها) .

ب ـ الحمل الواقع على الجمل ويتوقف على :

- وزن أغطية السطح (التي يؤثر فيها أيضاً درجة ميل السقف) .

- الأحمال الحية التي يتعرض لها السطح والسقف .

- تقسيط الجمال .

حـ ـ الجهد المسموح به لمادة الجمل .

وقد وضعت معادلات عملية شمل بعضها بعض العوامل المشار إليها وشمل قليل منها كل العوامل . كما أُعطَى بعضُها وزنَ الجمل منفرداً وأعطى بعضها الآخر وزن السقف المعدني كله . ونورد هنا بعض هذه المعادلات :

١ ـ معادلة سالمون « *Salmon* »

وتهمل هذه المعادلة جهد الصلب المستخدم ، ربما على اعتبار أن صلب الجمالونات صنف واحد هو صلب ٣٧ أو ما يعادله في البلاد الأخرى ، كما لا تذكر المعادلة قيمة الحمل الحي ، ربما على اعتبار أن الحمل الحي عنده ثابت وهو وزن الجليد الذي يغطي السطح في الشتاء . والمعادلة هي :

$$w = \frac{K}{s}(9 + \frac{L^2}{150})$$

وفيها w = وزن السقف المعدني بالكيلوجرام على المتر المربع من المساحة التي يغطيها الجمل (Covered area) و = $L \times s$

s : تقسيط الجمال بالمتر .

L : بجر الجمل بالمتر .

K : معامل يتوقف على مادة التغطية ويساوي :

١٠ ، لألواح الأسبستوس المموجة .

١١ ، لإطارات الزجاج ولبلاطات الخرسانة الخفيفة .

١٥ ، للخرسانة المسلحة .

٢ ـ معادلة شتوسي (Stussi)

$$w = (w_c + p)\frac{L}{L_{max} - L}$$

وفيها

w = وزن الجمل فقط بالكيلوجرام على المتر المربع . من المساحة المغطاة

w_c = وزن مادة التغطية (كجم / م٢)

p = الحمل الحي (كجم / م٢)

l = بحر الجمل بالمتر

L_{max} = ٤٥٠ لصلب ٣٧

ولا تشمل هذه المعادلة تقسيط الجمال .

٣ ـ معادلة ثاير (Thayer)

وهي شاملة لجميع المتغيرات ولكنها لوحدات الرطل والبوصة .

وهي كالآتي :

$$W = \sqrt{\frac{W/a}{f_a}}(4L^2 + L)$$

وفيها

W = الوزن الكلي للجمل بالأرطال .

w = الحمل الكلي على السطح بالرطل على القدم المربع .

F_a = الجهد المسموح به بالرطل على البوصة المربعة .

a = تقسيط الجمال بالقدم .

L = بحر الجمل بالقدم .

وبتحويل الوحدات في هذه المعادلة إلى وحدات الكيلوجرام والسنتيمتر وبتغيير حدها الأيسر ليمثل الوزن على وحدة المساحة نحصل على المعادلة :

$$w = 0.323\sqrt{\frac{p}{s\, f_{p1}}}(13.1\, L + 60)$$

وفيها :

w = وزن الجمل بالكيلوجرام على المتر المربع من المساحة المغطاة .

p = الحمل الكلي على الجمل (غطاء السطح + غطاء السقف إن وجد + الحمل الحي) بالكيلوجرام على المتر المربع من المساحة الأفقية .

s = تقسيط الجمال بالمتر .

f_{p1} = الجهد المسموح به بالكيلوجرام على السنتيمتر المربع .

L = بحر الجمل بالمتر .

وقد حولت هذه المعادلة لتشمل وزن السقف المعدني كله . وباعتبار

صلب ٣٧ ، فأصبحت باستخدام الرموز نفسها كالآتي :

$$w = 0.2\sqrt{\frac{p}{s}}$$

وفيها : w = وزن السقف الفولاذي بالكيلوجرام على المتر المربع من المساحة المغطاة . والمعتقد أن هذه المعادلة تعطي قيماً مناسبة للوزن الذاتي للسقف المعدني بعد أن وضعت في الهيئة التي يفضل أن تستعمل بها وهي احتساب الوزن الكلي للسقف بالكيلوجرام على المتر المربع من المساحة المغطاة .

وعلى العموم فالملاحظ أنه بالنسبة للجهود في أعضاء الجمال ، أن نصيب الوزن الذاتي منها يتراوح بين ١٥ و ٢٠ ٪ من الجهود الكلية في أعضاء الجمل . فإذا كان اختلاف الوزن المفروض عن الوزن الواقعي بعد التصميم بين ٢٠ و ٣٠ ٪ فإن الفرق في الجهد يتراوح بين ٣ و ٥ ٪ فقط ، مما يمكن التغاضي عنه . إلاّ أنه عندما يكون بحر الجمل كبيراً (أكبر من ٣٠ متراً مثلاً) أو تكون الأحمال غير عادية كأن تكون الأحمال مركزة (كأوزان المرفاعات المعلقة) ففي هذه الحالة يلزم مراجعة الوزن الذاتي ـ بعد إجراء التصميمات ـ مع الوزن السابق فرضه وتعاد الحسابات فيما لو كانت الفروق كبيرة . ويحتاج المصمم إلى التصرف فيما إذا كان للجمل كابول من طرف واحد أو من كلا الطرفين أو كان الجمل نفسه كابولا أو كابولا مزدوجاً .

ثانيا ـ الأحمال الحية *(Live loads)*

تشمل الأحمال الحية ما يلي :

أ ـ حمل حي يمكن أن يوزع بانتظام على كامل المسطح الذي يشغله الجمل كما يمكن أن يوضع في المساحات التي تسبب أقصى جهود في مختلف أعضاء الجمل ، كأن تحمّل نصف الفتحة أو ربعها لايجاد أقصى قوى في أعضاء الجذع أو يحمل كابول دون الفتحة ، لحساب تأثيره على الوترين وعلى رد الفعل البعيد .

ب ـ أحمال تعلق من الجمل مثل أوزان المرفاعات (*Monorails*) . وهذه قد تحدد أماكنها بالضبط أو يُطلب أن يصمم الوتر السفلي على حمل وحيد القضيب، قد يأخذ أي وضع ، وفي هذه الحالة يفترض للمرفاع حمل موزع بانتظام . وكما يحدد صانع المرفاع قيمة الحمل على عجلاته ومقدار تباعدها ، كذلك يحدد قيمة الحمل الذي يطلب توزيعه على الوتر السفلي للجمل .

ويطلق أحياناً على الحمل الموزع على السطح حمل الطوارىء (*Emergency load*) حيث أن الأسقف المعدنية قد يعرّضها أصحابها لأحمال غير متوقعة سواء أكان ذلك أثناء أعمال تركيب أجهزة العمل أو فيما بعد ، أثناء استخدام المنشأ . وفي البلاد التي يتساقط فيها الجليد يستعاض عن الحمل الحي بوزن ما قد يتراكم على السطح من جليد . وتحدد كل بلد قيمة ذلك الحمل . أما المواصفات المصرية فإنها تعطي قيماً للحمل الحي الموزع بانتظام تتغير تبعاً لأمرين :

أ ـ كون السطح يمكن الوصول إليه أم لا .

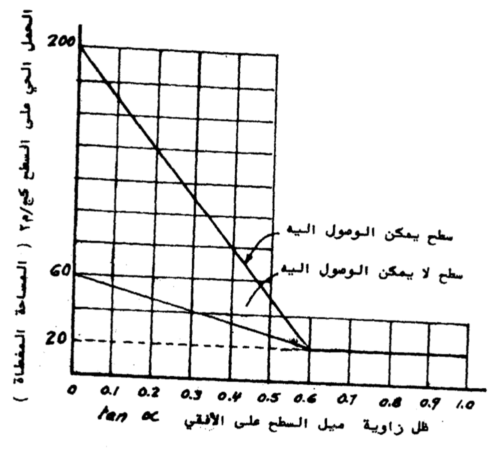
ب ـ درجة ميل السطح على الأفقي .

ويبين الرسم البياني التالي العلاقات المشار إليها وهي :

الحمل الحي على السطح الأفقي الذي يمكن الوصول إليه : ٢٠٠ كج / م٢ . وعلى الذي لا يمكن الوصول إليه : ٦٠ كج / م٢ .

وتقل قيمة الحمل الحي تبعاً لميل السطح كما في الرسم ولكنها لا تقل بأي حال عن ٢٠ كيلوجرام على المتر المربع من المساحة الأفقية .

كما تنص المواصفات على أن يراجع تصميم المدادة على حمل مركز قدره ١٠٠ كيلوجراماً ، يمثل عاملاً مع ما يحمل من أدوات .



شكل (٣ - ٣٠) ـ الحمل الحي على الأسطح المائلة

ثالثاً ـ ضغط الريح *(Wind pressure)* :

يؤثر الريح على المنشئات كافةً ولاسيما التي لا تحميها منشآت مجاورة وقد يكون أثره هيناً في المنشئات القليلة الارتفاع ولكنه ملموس في المباني العالية كما أن تأثير الريح قد يكون العامل الأساسي في تصميم بعض المنشئات كالصواري والأبراج المعدنية .

ويمكن تشبيه تأثير تيار هوائي بتأثير تيار مائي يعترض سبيله صخرة مثلاً ، مع الفارق في أن تيار الهواء غير محدود الحجم سواء في العرض أم في العلو . وقد أمكن استخدام معادلة ديناميكا الموائع في دراسة تأثير الريح على المنشئات والمعادلة هي :

$$q = \frac{\omega}{2g} V^2$$

وفيها :

q : الضغط بالكيلوجرام على المتر المربع .

ω : وزن المتر المكعب من الهواء ويؤخذ ١,٢٩٣ كج / م٣ .

V : السرعة بالمتر في الثانية (تساوي $\frac{1}{3,6}$ كيلومتر في الساعة) .

g : عجلة الجاذبية = ٩,٨١ متر/ثانية / ثانية .

وبالتعويض $q = 0.066\, V^2$

وقد أظهرت تجارب ديناميكا الهواء أن ضغط الريح يتوقف على مقاس المساحة المعرضة له وشكلها ، وأن قيمة الضغط قد تصل إلى ثلاثة أضعاف القيمة المحسوبة من المعادلة النظرية واقترح « جراشوف » أن تزاد قيمة الضغط ١,٨٦ مرة وبذلك يصبح الضغط : $q = 0.122\, V^2$ فإذا كانت سرعة الريح ٦٥ كيلومتراً في الساعة (١٨ متراً في الثانية) فإن ضغط الريح يصل إلى ٤٠ كيلوجرام على المتر المربع وهو ضغط لا يستطيع الإنسان أن يقاومه بسهولة .

وقد أوضحت التجارب أيضاً أن للريح تأثيراً على الأسطح المواجهة له ، كما أن لها تأثيراً على الأسطح المقابلة (يطلق عليها الأسطح تحت الريح) بل أن له أيضاً تأثيراً على الأسطح العمودية على السطح المواجه . ويحدد ضغط الريح على أسطح المنشآت من واقع المعادلة :

$$p_w = c.q$$

وفيها :

p_w = ضغط الريح عمودياً على السطح .

q = ضغط الريح على السطح الرأسي كما تحدده المواصفات وهو يتوقف على ارتفاع المبنى .

c = معامل يتوقف على طبيعة السطح المعرض للريح . وهو للسطح المواجه للريح :

$$c = 1.2 \sin \alpha - 0.4$$

أما الأبراج - وهي التي يجاوز ارتفاعها خمسة أمثال أقصر ضلع فيها - فإن المعامل :

$$c = 1.6 \sin \alpha - 0.4$$

حيث α هي زاوية ميل السطح على الأفقي .

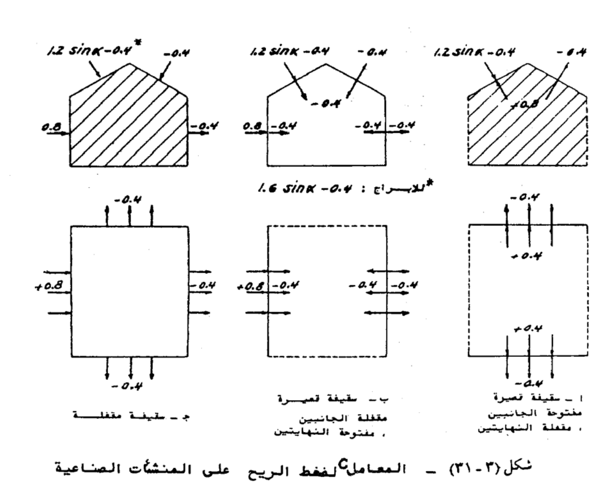
وعندما تكون قيمة المعامل موجبة فإنها تعني ضغطاً وعندما تكون سالبة فإنها تعني مصاً *(Suction)* أو سحباً .

أما الأسطح المقابلة وكذلك الأسطح العمودية على السطح المواجه فإن المعامل لا يتأثر بميل السطح ، وقيمته :

$$c = -0.4$$

وبذلك يكون تأثير الريح على تلك الأسطح دائماً سحباً أو مصاً .

وقد أوردت المواصفات الحالات المختلفة لبيان تأثير الريح على المنشآت المختلفة كما يوضحها شكل (٣ - ٣١) .



شكل (٣ - ٣١) ـ المعامل C لضغط الريح على المنشآت الصناعية

وتختلف قيمة (c) للمنشآت غير العادية ، كما يتضح من الجدول التالي :

جدول (٣ - ١)

المنشأ أو جزؤه	$2r\sqrt{q}$	c
الأسلاك والكابلات	1.5 >	1.20
	1.5 <	0.70
الكابلات الكهربية	1.5 >	1.20
	1.5 <	1.00
مستودعات السوائل والغازات :		
ـ تامة الاستدارة .		0.50
ـ غير منتظمة الاستدارة .		0.80
ـ مضلعة		1.20
القباب	1.0 >	.60
	1.0 <	.35

حيث

r = نصف القطر بالمتر .

q = ضغط الريح الأفقي كج / م٢ .

ولما كانت سرعة الرياح تزداد بازدياد الارتفاع عن سطح الأرض فإنه بالتالي يزداد ضغط الريح بازدياد الارتفاع . وقد حددت المواصفات المصرية قيمة q وهو الضغط بالكيلوجرام على السطح الرأسي المواجه للريح كالآتي :

q = ٥٠ كج / م٢ حتى ارتفاع ٨ امتار عن سطح الأرض .

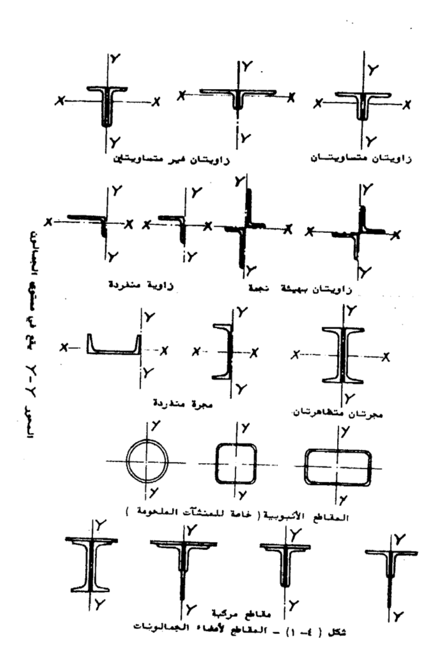
q = ٧٥ كج / م٢ على الارتفاعات من ٨ أمتار إلى ٢٠ متراً

q = ١٠٠ كج / م^{٢} على الارتفاعات التي تزيد على ٢٠ متراً .
ولكن لا تتجاوز ١٠٠ متر .

q = ١٢٥ كج / م^{٢} على الارتفاعات التي تزيد على ١٠٠ متر .

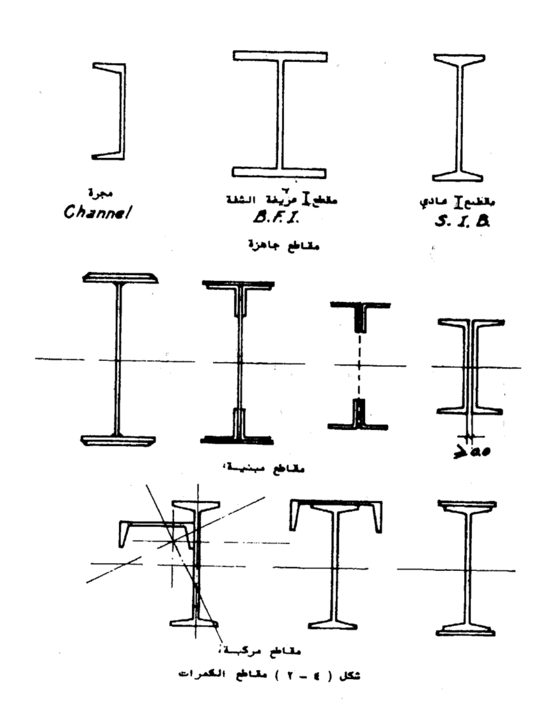
الفصل الرابع
تصميم الأعضاء الفولاذية

أولاً ـ أعضاء الجمالونات :



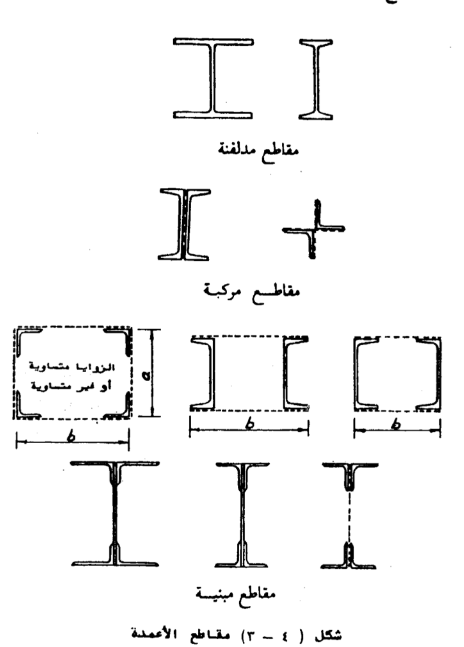
شكل (٤- ١) ـ المقاطع لأعضاء الجمالونات

ثانياً ـ مقاطع الكمرات :



شكل (٤ ـ ٢) مقاطع الكمرات

ثالثاً - مقاطع الأعمدة :



شكل (٤ - ٣) مقاطع الأعمدة

توزيع الجهود في المقاطع :

المعادلة العامة لحساب الجهود في أعضاء المنشآت هي :

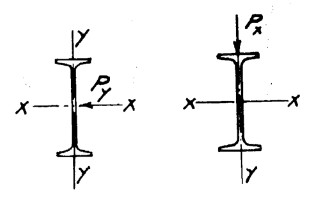
$$f = \frac{N}{A} \pm \frac{M_x . y}{I_x} \pm \frac{M_y . x}{I_y} \qquad (4 - 1)$$

والحد الأول من الطرف الأيمن يعطي الجهود على مقاطع الأعضاء المحملة تحميلاً محورياً (مركزياً) حيث الجهود موزعة بانتظام على المقطع وتكون إما جهود شد وإما جهود ضغط حسب إحدى المعادلتين :

$$f = \frac{T}{A} \qquad (4 - 2a)$$

$$f = \frac{C}{A} \qquad (4 - 2b)$$

وكل من الحد الثاني والحد الثالث من الطرف الأيمن للمعادلة *(4 - 1)* يعطي الجهود على مقاطع الأعضاء المحملة تحميلاً عرضياً ، أي في المستوى العمودي على محور العضو ماراً بأحد المحورين الرئيسين للمقطع ، وبذلك يتعرض العضو لعزم حني مفرد حول المحور الآخر *(Simple bending)* .



شكل (٤ - ٤) — مقطع كمرة معرضة لعزم حني منفرد

وتكون معادلة الجهد على المقطع :

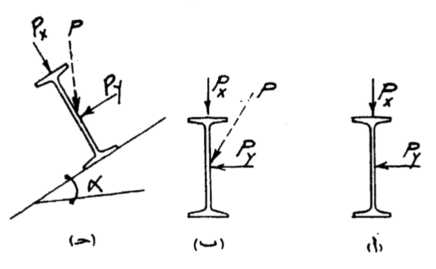
$$f = \pm \frac{M_x . y}{I_x} \qquad (4 - 3a)$$

$$f = \pm \frac{M_y . x}{I_y} \qquad (4 - 3b)$$

وإذا تعرض العضو لحمل عرضي مار بكل من محوري المقطع (شكل ٤ ـ ٥ أ) أو لحمل عرضي يميل على المحورين (شكل ٤ ـ ٥ ب) أو كان المحوران يميلان على الحمل (شكل ٤ ـ ٥ حـ) فإن المقطع يتعرض لعزم حني حول كل من المحورين ، أو عزم حني مزدوج *(Double bending)* .

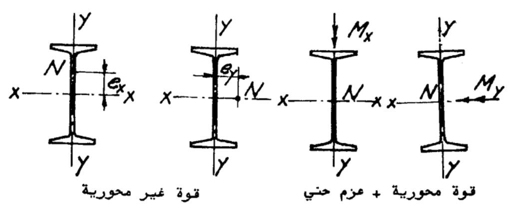
وتصبح معادلة الجهد على المقطع :

$$f = \pm \frac{M_x . y}{I_x} \pm \frac{M_y . x}{I_y} \qquad (4 - 4)$$



شكل (٤ ـ ٥) مقطع كمرة معرضة لعزم حني مزدوج

وإذا تعرض العضو لحمل عمودي غير محوري ولكنه واقع على أحد محوري المقطع (شكل ٤ ـ ٦ أ) ، أو تعرض العضو لحمل محوري ولعزم حني حول أي من محوري المقطع (شكل ٤ ـ ٦ ب) فإن المقطع يتعرض لعزم حني مركب *(Compound bending)* .



شكل (٤ - ٦) تحميل غير مركزي

وتصبح معادلة الجهد على المقطع :

$$f = \frac{N}{A} \pm \frac{N.\, e_x.\, y}{I_x} \qquad (4\text{-}5\ a)$$

$$or\ f = \frac{N}{A} \pm \frac{M_x\, .\, y}{I_x} \qquad (4\text{-}5b)$$

$$and\ f = \frac{N}{A} \pm \frac{N\, .e_y.\, x}{I_x} \qquad (4\text{-}5c)$$

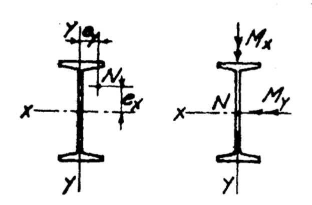
$$or\ f = \frac{N}{A} \pm \frac{M_y.x}{I_y} \qquad (4\text{-}5\ d)$$

وإذا تعرض العضو لحمل عمودي خارج محوري المقطع (شكل ٤ ـ ٧ أ) أو تعرض لحمل محوري ولعزم حني حول كل من محوري المقطع (شكل ٤ ـ ٧ ب) .

فعندئذٍ تصبح معادلة الجهد على المقطع هي المعادلة العامة :

$$f = \frac{N}{A} \pm \frac{N.e_x.y}{I_x} \pm \frac{N.e_y.x}{I_y} \qquad (4\text{-}1\ a)$$

$$or\ f = \frac{N}{A} \pm \frac{M_x.y}{I_x} \pm \frac{M_y.x}{I_y} \qquad (4\text{-}1\ b)$$



شكل (٤ ـ ٧) الحالة العامة للتحميل

وسنرى فيما بعد أنه من الأصلح عند تصميم الأعضاء المعرضة لعزم حني استبدال الحدين $\frac{I_x}{y}$ و $\frac{I_y}{x}$ بمعايري المقطع Z_x و Z_y

الإنهاك *(Fatigue)* :

إذا تعرض عضو لجهود ترددية *(Alternating)* تتغير بين شد وضغط أو لجهود متكررة *(Repeating)* أي تتغير قيمتها تبعاً لظروف التحميل ، فإن جزيئاته تتباعد وتتقارب ، وبذلك يقاسي العضو من الإنهاك أي أنه يتعرض للانهيار عند جهد أصغر من ذلك الجهد الذي ينهار عنده لو كان التغير في الجهد غير ملحوظ . ولذلك فإنه عند تصميم مثل هذا العضو يجب خفض الجهد المسموح به تبعاً لاتساع مجال التردد . والأوفق في هذه الحالة أن تزاد القوة التي يصمم عليها العضو (وهذا طبعاً معادل لخفض الجهد المسموح به) . وتسري هذه القاعدة على أي من مسببات الجهد : القوة ، عزم الحني ، قوة القص .

وتزداد مسببات الجهد بضرب كل من القوتين S_{min}, S_{max} ، المحسوبتين للحمل الميت والحمل الحي مضافاً إليه تأثيره الديناميكي دون غيرهما من حالات التحميل ، في المعامل γ الذي يساوي :

للفولاذ ٣٧ و ٤٤ $\gamma = 1.2\,(1 - 0.33\,\frac{S_{min}}{S_{max}})$

للفولاذ ٥٢ $\gamma = 1.33\,(1 - 0.50\,\frac{S_{min}}{S_{max}})$

وفيهما γ لا يقل من الواحد الصحيح

و S_{max} و S_{min} كل بعلامتها .

ويلاحظ أن $\gamma = 1$ في كلا المعادلتين عندما تكون $S_{min} = \frac{1}{2} S_{max}$ بالعلامة نفسها ، فهذا هو الحد الذي يبدأ عنده الإنهاك .

تصميم أعضاء الشد

أولاً ـ العضو ذو الوصلة الملحومة

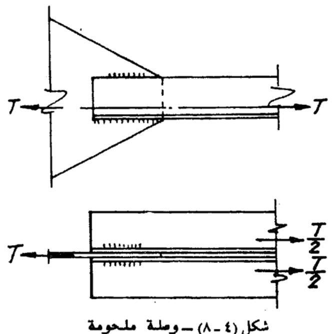
عندما يكون العضو متماثلاً على جانبي لوح التجميع فإن محصلة القوتين في جزأيه تكون على امتداد القوة في اللوح وبذلك تكون الجهود موزعة بالتساوي على المقطع وتكون معادلة الجهد :

$$f = \frac{T}{A} \qquad (4 - 2a)$$

والمجهول في هذه المعادلة هو (A) ، وبالتالي تحوّل المعادلة إلى الوضع التصميمي الآتي :

$$A_{req} = \frac{T}{f_{pt}} \qquad (4 - 6)$$

وفيها A_{req} هي المساحة المطلوبة للمقطع (سم ٢) .



شكل (٤ ـ ٨) ـ وصلة ملحومة

و T هي قوة الشد بالكيلوجرام (أو الطن)

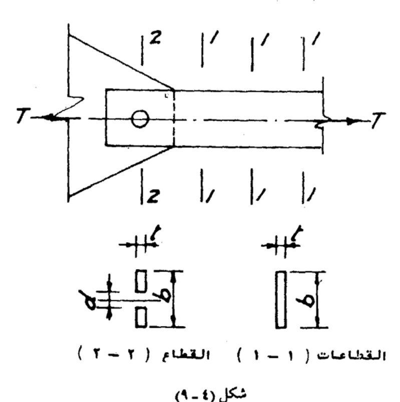
و f_p هو الجهد المسموح به في حالة الشد ووحدته كيلوجرام / سم^2 (أو طن / سم^2) .

ثانياً ـ العضو ذو الوصلة المبرشمة :

إذا تعرض عضو مقطعه $(b \times t)$ ، وكان مربوطاً بمسمار قطره (d) ولقوة شد مقدارها (T) كان الجهد فيه :

$$f_1 = \frac{T}{b \times t} \qquad (4 - 7)$$

ويستمر هذا الجهد في كامل طول العضو حتى القطاع ٢ ـ ٢ ، فعند هذا القطاع يُفقد جزء من المقطع مقاسه $(t . d)$ وبذلك تصبح المساحة من المقطع التي تقاوم القوة (T) هي المساحة الصافية وتساوي :



شكل (٤ ـ ٩)

$$A_{net} = b \times t - d \times t$$

$$= (b - d)\,t \qquad (4-8)$$

ويسمى القطاع ٢ ـ ٢ بالقطاع الحرج *(Critical section)* ويكون الجهد فيه :

$$f_2 = \frac{T}{(b-d).t} \qquad (4-9)$$

وبتحويل المعادلة إلى الوضع التصميمي :

$$Req.A_{net} = \frac{T}{f_{pt}} \qquad (4-10)$$

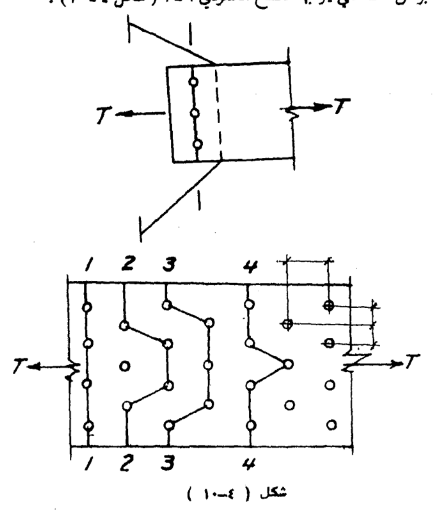
وبذلك تكون المساحة الكلية المطلوبة هي المساحة الصافية للمقطع مضافاً إليها ما يفقد من المقطع بسبب ثقب المسمار .

$$Req\ A_{gross} = A_{net} + d \times t \qquad (4\text{-}11)$$

وإذا كان بالمقطع العمودي على محور القضيب وعلى القوة المؤثرة عند الوصلة أكثر من ثقب وجب إضافة الفقد من المقطع بسبب تلك الثقوب وتكون :

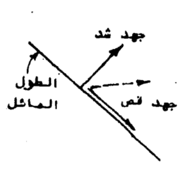
$$Req\ A_{gross} = A_{net} + \Sigma\ d \times t \qquad (4\text{-}12)$$

وإذا كانت الثقوب لمسامير مترنحة فإن هناك احتمالاً أن يكون المقطع الحرج منكسراً مثل قطاع ٣ ـ ٣ وقطاع ٤ ـ ٤ اللذين يمران بعدد من الثقوب أكبر من تلك التي يمر بها القطاع العمودي ١ ـ ١ (شكل ٤ ـ ١٠) .



شكل (٤ـ١٠)

ونظراً لأن جهود الشد التي تؤثر على اللوح ليست متعامدة على الأطوال المائلة من القطاع المنكسر فإن تأثيرهـا على تلك الأطوال يكون على هيئة جهود شد وجهود قص وهما عبارة عن مركبتي الجهد الأصلي عمودياً على الطول المائل وفي مستـواه .



شكل (٤ ـ ١١)

وبالرغـم من أن جهـد الشـد على ذلك الطول أقل من الجهد على القطاع العمودي إلاّ أن وجود جهود القص تزيد من الجهود الفعلية المؤثرة على الطول المائل . وتتطلب المواصفات مراجعة طول القطاع العمودي مع قطاعات أخرى تمر بعدد أكبر من الثقـوب . فمثـلاً الواضـح من شكل (٤ ـ ١٠) أن القطـاع ٢ ـ ٢ أطـول من القطـاع ١ ـ ١ وكلاهما يمر بأربعة ثقوب فالقطاع ١ ـ ١ أكثر حرجاً من ٢ ـ ٢ ولكن القطاع ٣ ـ ٣ الذي يمر بخمسة ثقوب وكذلك القطاع ٤ ـ ٤ تجب مقارنتهما بالقطاع ١ ـ ١ . ونص المواصفات كالآتي :

الطول الصافي لمقطع في عضو شد في خط مائل أو متعرج يمر بعدد من الثقوب ، يساوي طول المقطع العمودي على القوة ، مطروحاً منه أقطار تلك الثقوب مضافاً إليه المقدار $\frac{p^2}{4g}$ لكل ثقب حيث : p هي الخطوة بين ثقبين متجاورين في الاتجاه الطولي (اتجاه القوة) و g هي المسافة بين الثقبين نفسيهما في الاتجاه العرضي . وبذلك تكون المساحة الصافية :

$$A_{net} = t\left(b - \Sigma d + \Sigma \frac{p^2}{4g}\right) \qquad (4\text{-}13)$$

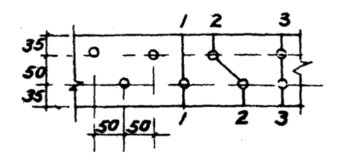
ويكون الطول الصافي الحرج لمقطع العضو هو الطول الأقل من المقاطع التي تمر بمجموعة ما من الثقوب .

ومن الواضح أنه كلما صغرت p وكبرت g كلما زاد احتمال أن يكون الخط المتعرج هو المقطع الحرج .

مثال (٤ - ١) - لإيجاد المقطع الحرج للوح مقاسه ١٢٠ × ١٠ به ثقوب مترنحة قطر ٢٠ مم (شكل ٤ - ١٢) .

قطاع ١ - ١ :

$$A_{net} = (12.0 - 2.0) \times 1.0 = 10.0\ cm^2$$



شكل (٤ - ١٢)

قطاع ٢ - ٢ :

$$A_{net} = 1.0 \times (12.0 - 2 \times 2.0 + 1 \times \frac{5^2}{4 \times 5})$$
$$= 9.25\ cm^2$$

∴ قطاع ٢ - ٢ هو المقطع الحرج ومساحته الصافية ٩,٢٥ سم٢ .

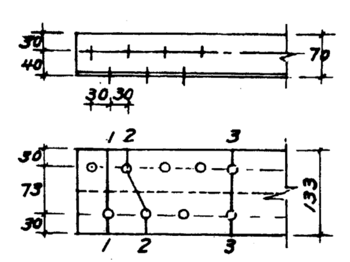
مثال (٤ - ٢) لإيجاد المقطع الحرج لزاوية بكل من رجليها ثقوب ليست في قطاع واحد،تفرد الزاوية وتتبع الطريقة الموضحة في المثال السابق ففي الزاوية ٧٠ × ٧ التي بها ثقوب قطر ١٧ سم ليست في قطاع واحد شكل (٤ - ١٣) :

قطاع ١ - ١ :

$$A_{net} = (13.3 - 1.7) \times 0.7 = 8.12\ cm^2$$

قطاع ٢ ـ ٢ :

$$A_{net} = 0.7\,(13.3 - 2 \times 1.7 + 1 \times \frac{3.0^2}{4 \times 7.3}) = 7.14\ cm^2$$



شكل (٤ ـ ١٣) ـ انفراد زاوية

∴ قطاع ٢ ـ ٢ هو المقطع الحرج ومساحته الصافية ٧,١٤ سم٢ .

مثال (٤ ـ ٣) ـ لإيجاد المقطع الحرج للوح ١٧٠×١٢ به ثقوب مترنحة قطر ٢٠ مم (شكل ٤ ـ ١٤) :

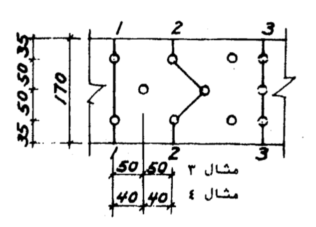
قطاع ١ ـ ١ :

$$A_{net} = (17.0 - 2 \times 2.0) \times 1.2 = 15.6\ cm^2$$

قطاع ٢ ـ ٢ :

$$A_{net} = 1.2\,(17.0 - 3 \times 2.0 + 2 \times \frac{5.0^2}{4 \times 5.0}) = 16.2\ cm^2$$

∴ قطاع ١ ـ ١ هو المقطع الحرج ومساحته الصافية ١٥,٦ سم٢



شكل (٤ - ١٤)

مثال (٤ - ٤) - في المثال السابق إذا كانت $p = 40$ بدلاً من 50 .

قطاع ١ - ١ : $A_{net} = (17.0 - 2 \times 2.0) \times 1.2 = 15.6\ cm^2$

قطاع ٢ - ٢ :

$$A_{net} = 1.2\,(17.0 - 3 \times 2.0 + 2 \times \frac{4.0^2}{4 \times 5.0}) = 15.12\ cm^2$$

∴ قطاع ٢ - ٢ هو المقطع الحرج ومساحته الصافية ١٥,١٢ سم٢ .

مثال (٤ - ٥) - لإيجاد المقطع الحرج للوح مقاسه ٢٨٠ × ١٢ به ثقوب مترنحة قطر ٢٠ مم ، (شكل ٤ - ١٥) :

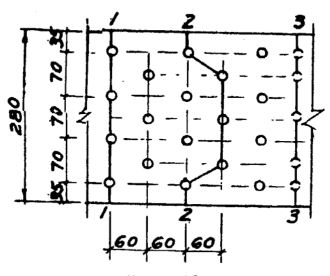
قطاع ١ - ١:

$$A_{net} = (28.0 - 4 \times 2.0) \times 1.2 = 24.00\ cm^2$$

قطاع ٢ - ٢ :

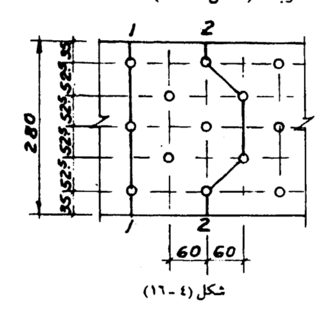
$$A_{net} = (28.0 - 5 \times 2{:}0 + 2 \times \frac{6.0^2}{4 \times 3.5}) = 27.77\ cm^2$$

∴ القطاع ١ - ١ هو الحرج ومساحته الصافية ٢٤,٠٠ سم٢ .



شكل (٤ - ١٥)

مثال (٤ - ٦) - لايجاد المقطع الحرج للـوح مقاســه ٢٨٠ × ١٢ بعـد تخفيض عدد الثقوب . (شكل ٤ - ١٦) :



شكل (٤ - ١٦)

∴ قطاع ١ - ١ :

$$A_{net} = (28.0 - 3 \times 2.0) \times 1.2 = 26.40\ cm^2$$

قطاع ٢ ـ ٢ :

$$A_{net} = 1.2 \left(28.0 - 4 \times 2.0 + 2 \times \frac{6.0^2}{4 \times 5.25}\right) = 28.12 \ cm^2$$

ونود أن نشير هنا إلى أن الطريقة المذكورة مأخوذة عن مواصفات المعهد الأمريكي للإنشاء بالصلب . أما المواصفات المصرية فإنها تعطي طريقة أبسط في التطبيق ونتائجها أكثر تحفظاً من الطريقة السابقة ، والطريقة هي حساب المقطع المتعرج الذي يحوي عدداً من الثقوب ليست في قطاع واحد متعامد على القوة بأخذ الأطوال من ذلك القطاع العمودية على القوة بكامل طولها وأخذ ٨٠ ٪ من الأطوال المائلة التي تمر بين الثقوب . ويشترط في هذه الحالة ألا تقل مساحة المقطع المحسوبة بهذه الطريقة عن مساحة مقطع متعامد على القوة يفترض فيه وجود الثقوب التي يمر بها القطاع المتعرج .

وسندرس الأمثلة السابقة باستخدام هذه الطريقة :

مثال (٤ ـ ١)

قطاع ١ ـ ١ $A_{net} = (12.0 - 2.0) \times 1.0 = 10.0 \ cm^2$

قطاع ٢ ـ ٢ $A_{net} = 1.0(3.5 + 0.8 \times 7.0 + 3.5 - 2 \times 2.0) = \underline{8.68} \ cm^2$

قطاع ٣ ـ ٣ $A_{net} = (12 - 2 \times 2.0) \times 1.0 = 8.00 \ cm^2$

مثال (٤ ـ ٢)

قطاع ١ ـ ١ $A_{net} = (13.3 - 1.7) \times 0.7 = 8.12 \ cm^2$

قطاع ٢ ـ ٢ $A_{net} = 0.7(3.0 + 0.8 \times 7.9 + 3.0 - 2 \times 1.7) = 6.24 \ cm^2$

قطاع ٣ ـ ٣ $A_{net} = (13.3 - 2 \times 1.7) \times 0.7 = \underline{6.93} \ cm^2$

(لما كانت مساحة المقطع ٢ ـ ٢ أقل من مساحة المقطع ٣ ـ ٣ اعتبرت مساحة المقطع ٣ ـ ٣ هي المساحة الصافية الحرجة) .

مثال (٤ - ٣َ)

قطاع ١ - ١ : $A_{net} = (17.0 - 2 \times 2.0) \times 1.2 = 15.6\ cm^2$

قطاع ٢ - ٢

$A_{net} = 1.2\ (3.5 + 0.8 \times 2 \times 7.1 + 3.5 - 3 \times 2.0) = 14.83\ cm^2$

قطاع ٣- ٣ $A_{net} = (17.0 - 3 \times 2.0) \times 1.2$

مثال (٤ - ٤َ)

قطاع ١ - ١ $A_{net} = (17.0 - 2 \times 2.0) \times 1.2 = 15.6\ cm^2$

قطاع ٢ - ٢ $A_{net} = 1.2\ (3.5 + 0.8 \times 2 \times 6.4 + 3.5 - 3 \times 2.0)$

$= \underline{13.49}\ cm^2$

قطاع ٣ - ٣

$A_{net} = (17.0 - 3 \times 2.0) \times 1.2 = 13.2\ cm^2$

ومن هذه الأمثلة يتضح أن هذه الطريقة تعطى نتائج أكثر تحفظاً من الطريقة الأولى . كما يلاحظ أنه في الأمثلة ١ و ٣ و ٤ كان القطاع ٢ - ٢ هو القطاع الحرج ؛ أما في المثال ٢ فإن مساحة القطاع ٢ - ٢ كانت أقل من مساحة القطاع ٣ - ٣ وبذلك تكون مساحة القطاع ٣ - ٣ هي المساحة الحرجة الصافية .

مثال (٤ - ٥َ)، (شكل ٤ - ١٥) :

قطاع ١ - ١ $A_{net} = (28.0 - 4 \times 2.0) \times 1.2 = 24.00\ cm^2$

قطاع ٢ ـ ٢

$$A_{net} = 1.2\,(2 \times 3.5 + 2 \times 0.8 \times 7.0 + 2 \times 7.0 - 5 \times 2.0)$$

$$= \underline{22.20}\ cm^2$$

قطاع ٣ ـ ٣ $A_{net} = (28.0 - 5 \times 2.0) \times 1.2 = 21.60\ cm^2$

مثال(٤ ـ ٦َ) ، (شكل ٤ - ١٦)

قطاع ١ ـ ١ $A_{net} = (28.0 - 3 \times 2.0) \times 1.2$

$$= \underline{26.40}\ cm^2$$

قطاع ٢ ـ ٢

$$A_{net} = 1.2\,(2 \times 3.5 + 2 \times 0.8 \times 0.8 + 10.5 - 4 \times 2.0)$$

$$= 26.76\ cm^2$$

لا داعي هنا لحساب قطاع ٣ ـ ٣ لأن قطاع ١ ـ ١ هو الحرج .

اختيار المقطع *(Choice of section)* :

من المعادلتين 10 - 4 , 12- 4 :

$$A_{gross} - \Sigma d \times t = \frac{T}{f_{pt}} \qquad (4_14)$$

وتحتوي هذه المعادلة في طرفها الأيسر ثلاثة مجاهيل أحدها وهو قطر المسمار يجب أن يكون معروفاً سلفاً ، ويتم اختياره بعد معرفة القوى في أعضاء الجمل . ويخضع اختياره للعوامل التالية :

أ ـ تتناسب مقاومة القص للمسمار مع قطره .

ب ـ تتناسب مقاومة التحميل للمسمار مع قطره ومع سمك لوح التجميع .

جـ - يفضل ألا يزيد عدد المسامير في وصلة على ٦ (في اتجاه القوة) ويتحدد ذلك العدد بالقوى في الأعضاء .

د - أن مقاس المسمار يحدّد أدنى مقاس للزاوية التي يمكن استعمالها (عرض رجل الزاوية يساوي تقريباً ثلاثة أمثال قطر المسمار + سمك الزاوية) .

هـ - يتناسب سمك لوح التجميع مع القوى في الأعضاء ولا يقل عن ٨مم في جمالونات الأسقف . ويوضح الجدول التالي قيماً يمكن الاسترشاد بها في اختيار قطر المسمار :

جدول ٤ - ١

أكبر قوة في أعضاء الجمل Max.Force (ton)	سمك لوح التجميع t (mm)	قطر المسمار d (mm)	مقاومة القص* $R_{s.s.}$ (ton)	مقاومة التحميل* R_b (ton)	أصغر زاوية
up to 15.00	8	14	3.04	2.20	45 × 5
16.00 − 25.00	8,10	17	4.45	2.93 3.33	55 × 5
26.00 − 35.00	10,12	20	6.15	3.93 4.70	65 × 7
> 35.00	12,14	20	6.15	4.70 5,49	65 × 7

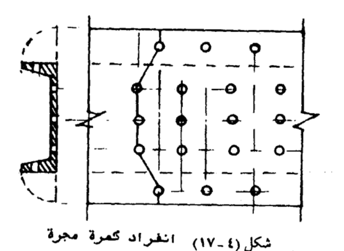
* هذه القيم لصلب St37

ويبقى في المعادلة *(14 - 4)* مجهولان وهما مساحة المقطع وسمكه .

وفي المقاطع المستطيلة في الأمثلة السابقة نجد أن نسبة الفاقد من المساحة ٢٢,٩ - ٢٣,٥ - ٢٥,٩ - ٢٨,٦ - ٢١,٤ في المائة من المساحة الكلية . ويتضح من المثال السادس أن المسامير متباعدة أكثر من غيرها وبذلك قلت نسبة الفاقد . أما المثال الثاني فإن الفاقد بسبب ثقب واحد يبلغ

١٢,٨ ٪ ويزيد الفاقد إلى ٢٣,٣ ٪ أو ٢٥,٦ ٪ بوجود ثقب في كل من الرجلين وتزيد نسبة الفاقد إلى ١٥ ٪ و ٢٧,٤ ٪ و ٣٠,١ ٪ على التوالي بزيادة قطر المسمار من ١٧ إلى ٢٠ سم ويتبين من هذا أن زيادة قطر المسمار يزيد من نسبة الفاقد كما أن وجود ثقبين في الزاوية حتى ولو لم يكونا في مقطع واحد يزيد من نسبة الفاقد ، وهو أمر تجب مراعاته في عمل وصلات الزوايا . حيث أن التصميم يجري عادة على اعتبار ثقب واحد في رجل واحدة ـ هذا إلاّ إذا كانت رجل الزاوية تتسع لمسمارين .

ويشبه ترتيب المسامير في الألواح ترتيبها في المقاطع I والمقاطع المجرة حيث بفرد شفاه تلك المقاطع يمكن دراسة مقطعها الصافي :



شكل (٤ ـ ١٧) انفراد كمرة مجرة

نخلص من هذا إلى أن ما يفقد بسبب ثقوب المسامير يبلغ في الزاوية بين ١٥٪ و ٢٠٪ من مساحتها الكلية ، وللمقاطع I والمجرة بين ٢٠٪ و٢٥٪ .
وتستخدم هذه القيم في حساب المقاطع اللازمة لأعضاء الشد حيث تحول المعادلة (10 - 4) :

$$Req.\, A_{net} = \frac{T}{f_{ot}} \qquad (4\text{-}10)$$

عند اختيار أعضاء الشد المكونة من زاويتين إلى المعادلة

$$Req\ \ A_{gross} = \frac{T}{0.85\ f_{pt}} \qquad (4-15)$$

مثال (٤ ـ ٧) ـ لاختيار مقطع مكوّن من زاويتين ليتحمل قوة شد قدرها ١٩,٠٠ طناً ـ قطر البرشام ١٧ مم .

$$A_g = \frac{19{,}000}{0.85 \times 1400} = 16.0\ cm^2$$

$$A\ for\ 1L = 8.0\ cm^2$$

$$Try\ 2L^s\ 55 \times 55 \times 8 : A = 2 \times 8.23\ cm^2$$

$$A_{net} = 2\ (8.23 - 1.7 \times 0.8) = 13.74\ cm^2$$

$$f_{act} = \frac{19{,}000}{13.74} = 1380\ Kg/cm^2$$

$$< 1400\ Kg/cm^2 \quad O.K.$$

والآن لنحاول مقطعاً آخر .

$$Try\ 2L^s\ 65 \times 65 \times 7 : A = 2 \times 8.70\ cm^2$$

$$A_{net} = 2\ (8.7 - 1.7 \times 0.7) = 15.02\ cm^2$$

$$f_{act} = \frac{19{,}000}{15.02} = 1270\ Kg/cm^2$$

$$< 1400\ Kg/cm^2 \qquad O.K.$$

فكلا المقطعين يصلح ، ولكن الأول أوفر فهو أجدر بالاستعمال ؛ إلاّ أنه لا ينصح باستعماله لسببين : أحدهما فني والآخر عملي :

فأما الفني فلأن المقطع الثاني أقوى وأجسأ بنسب تزيد على زيادة المساحة (بالتالي الوزن) ، كما يتبين من الجدول التالي :

جدول ٤ ـ ٢

	زاويتان ٥٥ × ٨	زاويتان ٦٥ × ٧	نسبة الفرق
المساحة (سم٢)	١٦,٤٦	١٧,٤٠	+ ٥,٧ ٪
المقدرة (طن)	١٩,٢٤	٢١,٠٣	+ ٩,٣ ٪
الفقد في المساحة سم٢	٢,٧٢	٢,٣٨	− ١٢,٥ ٪
الجساءة (r cm)	١,٦٤	١,٩٦	+ ١٩,٥ ٪

وأما السبب العملي ، فإن المعتاد أن المتاجر ولاسيما في البلاد التي لا تصنع الصلب لا تحمل من المقاطع سوى الأقلها سمكاً فيكون التصميم بالمقاطع السميكة عرضة للإعادة بما يستتبعها من تعديل الرسومات والكميات بالمقايسات .

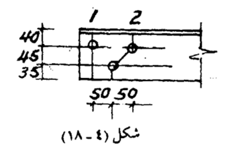
مثال (٤ ـ ٨) ـ لاختيار مقطع مكون من زاويتين ليتحمل قوة شد قدرها ٦٥ طناً ـ قطر البرشام ٢٠ مم .

$$Ag = \frac{65.000}{0.85 \times 1400} = 54.6\ cm^2$$

$$A\ for\ 1\ L = 27.3\ cm^2$$

$$Try\ 2L^s\ 120 \times 120 \times 12\ :\ A = 2 \times 27.5\ cm^2$$

وهذه الزاوية بها خطان للمسامير.



شكل (٤ ـ ١٨)

قطاع ١ ـ به ثقب واحد

$$A_{net} = 27.5 - 2.0 \times 1.2 \qquad = 25.1\ cm^2$$

قطاع ٢ ـ يمر بثقبين

$$A_{net} = 27.5 - 2 \times 2.0 \times 1.2 + \frac{5.0^2}{4 \times 45} = \underline{24.09}\ cm^2$$

∴ قطاع ٢ هو الحرج ، وتكون :

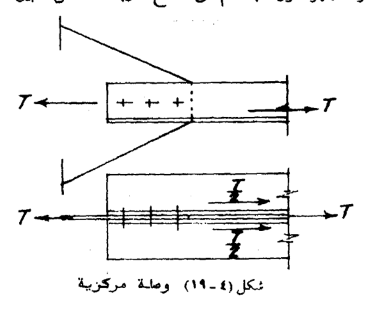
$$A_{net} = 2 \times 24.09 \qquad = 48.18\ cm^2$$

$$f_{act} = \frac{65000}{4818} = 1349\ Kg/cm^2$$

$$< 1400\ Kg/cm^2 \quad O.K.$$

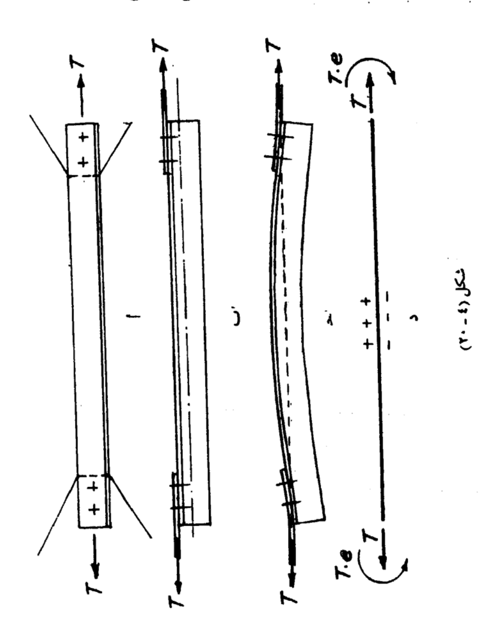
الوصلة غير المركزية :

إن المقطع المكون من زاويتين هو مقطع متماثل بالنسبة للوح التجميع الذي تنتقل إليه القوة . (شكل ٤ ـ ١٩) . وبذلك تكون القوة في مركز المقطع وتكون الجهود موزعة بانتظام على المقطع ، وبذلك أمكن تطبيق المعـــادلة



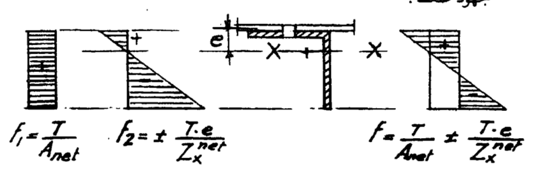
شكل (٤ ـ ١٩) وصلة مركزية

(4 - 10) ولـكن قد يحـدث أن يكون العضـو مكونـاً من عنصر واحـد أو من عنصرين ولكنهما موصولان في وجه واحد من لوح التجميع (شكل ٤ ـ ٢٠)



شكل (٤ - ٢٠)

ففي هذه الحالة تصبح القوة العمودية T غير محورية ويصبح تأثير هذه القوة معادلاً لقوة محورية قدرها T ولعزم حني مقداره $T.e$ حيث e هي البعد بين مركز العضو ومنتصف لوح التجميع كما في الشكل (٤ - ٢١ أ) . ويصبح توزيع الجهود على المقطع كما في الشكل (٤ - ٢١ حـ) الذي يظهر فيه ازدياد جهود الشد بدرجة كبيرة بالإضافة إلى تعرض طرف الرجل البارزة للزاوية لجهود ضغط .



شكل (٤ - ٢١)

مثال (٤ - ٩) - لنأخذ زاوية ١٠٠ × ١٠٠ × ١٠ موصولة بلوح تجميع سمك ١٠ مم بمسامير قطر ٢٠ مم وتحمل ١٢,٠٠ طناً ؛ ولنحسب الجهود فيها .

$L\,100 \times 100 \times 10 - A = 19.2\ cm^2, \quad e = 2.82\ cm - I_x = 17.7\ cm^4$

$$A_{net} = 19.2 - 2.0 \times 1.0 = 17.2\ cm^2$$

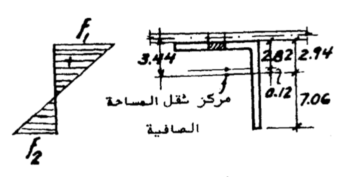
لإيجاد مركز ثقل الزاوية الصافية :

$$e' = \frac{2.0}{17.2} = 0.12\ cm$$

$$e_x = 2.82 + 0.12 = 2.94\ cm$$

$$Net\ I_x = 177 + 19.2 \times 0.12^2 - 2.0(2.94 - 0.5)^2$$

$$= 165.4\ cm^4$$



شكل (٤ -٢٢أ)

$$Net\,Z_{x1} = \frac{165.4}{2.94} = 56.3\ cm^3$$

$$Net\,Z_{x2} = \frac{165.4}{7.06} = 23.4\ cm^3$$

$$e = 2.94 + 0.5 = 3{,}44\ cm$$

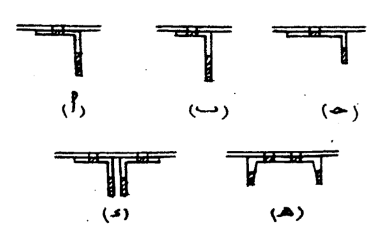
$$M = 12\,000 \times 3.44 = 41\,280\ Kg\ cm$$

$$f_1 = + \frac{12000}{17.2} + \frac{41\,280}{56.3}$$
$$= + 698 + 733 = + 1431\ kg/cm^2$$

$$f_2 = + \frac{12000}{17.2} - \frac{41280}{23.4}$$
$$= + 698 - 1764 = -1066\ Kg/cm^2$$

ويتضح من هذا المثال المجهود الذي بذل لحساب الجهود في مقطع الزاوية .ولا شك أن اختيار مقطع من زاوية واحدة ليحمل قوة معينة يشكل عملية أكثر صعوبة ، لا يقتضيها تصميم جمالونات الأسقف . وقد تولت المواصفات هذا الموضوع فاقترحت الطريقة التقريبية التالية :

لحساب مقطع معّرض لشد موصول وصلا غير مركزي تعتبر أن مساحته الفعالة *(Useful Area)* مساوية للمساحة الصافية للرجل الموصولة مضافاً إليها نصف مساحة الرجل البارزة (يعتبر عرض الرجل ناقصاً سمك الزاوية) كما هو موضح في الشكل (٤ ـ ٢٢ ب) .



شكل (٤ ـ ٢٢ ب)

وبحساب مقدرة أو حمولة *(Capacity)* الزاوية المفردة ١٠٠ × ١٠٠ × ١٠ بهذه الطريقة :

$$Useful\ area = (10.0 - 2.0) \times 1.0 + \frac{1}{2}(9.0 \times 1.0)$$

$$= 12.5\ cm^2$$

$$Capacity = 12.5 \times 1400 = 17\,500\ Kg$$

وهذه الحمولة تزيد ٥٠ ٪ على ما يمكن تحميل الزاوية به حسابياً . وربما دعانا هذا إلى تجنب استعمال الزاوية المفردة لأعضاء الجمالونات .

فإننا إذا قارنا عضواً من زاوية مفردة ١٠٠ × ١٠٠ × ١٠ مساحتها ١٩,٢ سم٢ بعضو مكوّن من زاويتين ٧٠ × ٧٠ × ٧ ومساحتهما ١٨,٨ سم٢ نجد أن حمولة الزاويتين

$$Capacity = 2\,(9.4 - 2.0 \times 0.7) \times 1400 = 22\,400\ Kg$$

أي أنه بمساحة أقل نحصل على مقدرة أكبر .

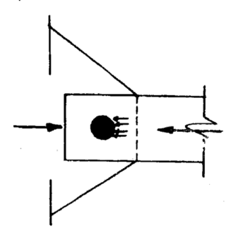
المعادلة رقم (4 - 2b) لأعضاء الضغط المحملة تحميلاً مركزياً :

$$f = \frac{C}{A} \qquad (4 - 2b)$$

تحول إلى المعادلة التصميمية :

$$A_{req} = \frac{C}{f_{pb}} \qquad (4 - 16)$$

وتختلف هذه المعادلة عن معادلة أعضاء الشد رقم (4 - 6) في أمرين :



شكل (٤ - ٢٣)

١ ـ أن المساحة المطلوبة إنما هي المساحة الكلية حيث أن المسامير تملأ تماماً ثقوبها وبالتالي فإن جهود الضغط تنتقل إلى جسم المسمار على هيئة جهود تحميل ولا يفقد شيء من المساحة .

٢ ـ أن جهد التحنيب f_{pb} ليس ثابتاً مثل جهد الشد f_{pt} ولكنه يتوقف على نسبة النحافة الأصغر $\frac{L_b}{r}$ حيث L_b هو طول التحنيب للعضو بالنسبة لأيٍّ من المحورين الرئيسين لمقطعه و r هو نصف قطر العطالة للمقطع حول المحور نفسه ، وهذا الأخير هو من خصائص المقطع .

وعلى هذا فإن المعادلة (16 - 4) تحتوي على مجهولين A و f_{bb} (الذي يتوقف على r) وكلاهما أي A و r من خصائص المقطع بالإضافة إلى أن L_b أيضاً مجهول . وكما هي الحالة في معادلة واحدة تحوي مجهولين نلجأ إلى فرض أحدهما ، والأنسب في هذه الحالة فرض f_{bb} فمنه يمكن الحصول على (A) ، وكذلك الحصول على ما يقابله من $\frac{L_b}{r}$. ومن حيث أنه يمكن حساب L_b من وضع العضو في المنشأ وظروف نهايتيه ، فإنه يمكن استنتاج (r) . ولما كانت لمقاطع الصلب علاقة ما بين مقاساتها وأنصاف أقطار العطالة فيها ، فإنه بمعرفة (r) يمكن الحصول على مقاسات المقاطع التي تناسب جهد التحنيب المفروض . ثم نقوم بعمل توفيق بين المقاس والمساحة حتى نحصل على المقطع المطلوب .

ولدراسة العاملين اللذين يتوقف عليهما f_{bb} :

أولاً ـ طول التحنيب *(Buckling length)*

إن أول ما يعرف عن العضو طوله ولكن طول التحنيب يتوقف على ظروف نهايتي العضو . كما أنه يلزم دراسة التحنيب لعضو ما حول المحورين الرئيسين لمقطع العضو . وقد علمنا من دراسة حساب الإنشاءات أن أطوال التحنيب لأعضاء الضغط تختلف بحسب اختلاف ظروف نهايتي العضو *(End Conditions)* إلاّ أن الدراسات العملية قد أورت بعض الاختلافات ، سببها الأساسي أنه في المنشآت المعدنية لا يمكن الحصول على تثبيت كامل لطرف عضو الضغط . ويوضح الجدول ٤ ـ ٣ التالي المأخوذ عن مواصفات المعهد الأمريكي لإنشاءات الصلب *(A.I.S.C.)* المعامل الذي يضرب في طول العضو ليعطي طول التحنيب .

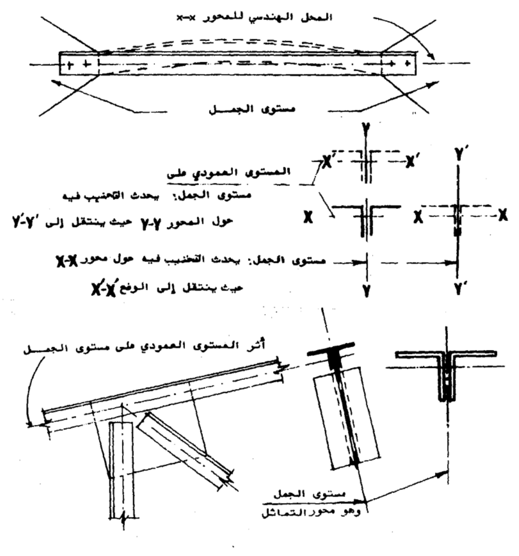
وتطبق المعاملات على أعضاء الضغط سواء أكانت أعمدة أم أرجل إطارات أم أعضاء في كمرات شبكية ، إلاّ أن الأمر يقتضي دراسة الظروف الفعلية لنهايتي عضو الضغط ومقارنتها بإحدى الحالات الموضحة بالجدول ثم تعديل ما قد يقتضي الأمر تعديله من المعاملات .

جدول ٤ ـ ٣

جدول أطوال التحنيب لأعضاء الضغط

حالة العضو	أ	ب	حـ	د	هـ	و
كيفية حدوث التحنيب						
ظروف النهايتين	لا تحدث زحزحة لأي من النهايتين			تحدث زحزحة لإحدى النهايتين		
	نهايتان مثبتتان	نهاية مثبتة وأخرى مفصلية	نهايتان مفصليتان	نهايتان مثبتتان	نهاية مثبتة وأخرى مفصلية	نهاية مثبتة وأخرى حرة
معامل التحنيب النظري	0.50	0.70	1.00	1.00	2.00	2.00
معامل التحنيب العملي	0.65	0.80	1.00	1.20	2.00	2.10

أطوال التحنيب لأعضاء الجمال *(Buckling lengths of truss members)*



شكل (٤ - ٢٤) - تحنيب أعضاء الجمل

نظراً لأن أغلب أعضاء الجمالون متماثلة حول مستوى الجمل وهو يمثل محور التماثل لمقاطع الأعضاء أي يقع فيه أحد المحورين الرئيسين ، وهو بالنسبة لزاويتين هو المحور الأكبر . وبذلك يُدرس احتمال التحنيب في مستوى الجمل وكذلك في المستوى العمودي عليه كما يتضح من شكل ٤ ـ ٢٤ :

وتقسم أعضاء الجمالون بالنسبة للتحنيب إلى فئتين :

أ ـ أعضاء الأوتار العلوية والسفلية ، وتتميز بطولها الذي يمتد عبر العديد من العقد ، والذي قد يصل إلى فتحة الجمل كلها .

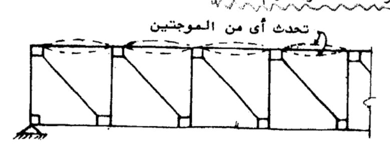
ب ـ أعضاء الجذع وتشمل الأقطار والقوائم .

وندرس الآن أطوال التحنيب لكل من هذه الأعضاء .

الأوتـــار :

أ ـ التحنيب في مستوى الجمـــل :

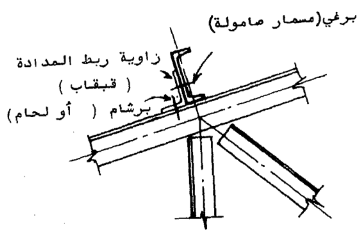
لو كانت عقد الجمل مفاصل حقيقية لكان طول التحنيب هو المسافة بين عقدتين متتاليتين ، كما في الوضع (حـ) في جدول معاملات التحنيب . كما لا يمكن القول إن نهايتي عضو الوتر مثبتتان في لوح التجميع ، بحيث يكون بحسب الوضع (أ) من الجدول المذكور . ولكن يمكن القول بأن النهايتين ممسوكتان ضد الدوران الكامل دون أن تكونا مثبتتين . وقد تعددت قيم معامل التحنيب في المواصفات المختلفة فهو يتراوح بين ٠,٦٥ ، ١,٠٠ . وتحدد المواصفات المصرية الرقم ٠,٨٥ .



شكل (٤ ـ ٢٥) - انبعاج وتر الضغط في مستوى الجمل

ب ـ التحنيب عمودياً على مستوى الجمل :

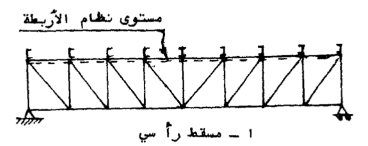
إذا كان طول التحنيب في مستوى الجمـل هو نسبـة من المسافـة بـين العقدتين ، فإنه يجب تحديد نقط يسند فيها الوتر في المستـوى العمـودي على الجمل وإلا كان الوتر غير مستقر.



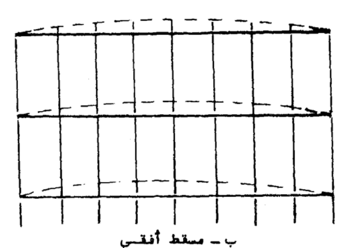
شكل (٤ ـ ٢٦) المدادة ليست مربوطة في الجمل مباشرة

وعندما يكون الوتر العلوي محملاً وترتكز المدادات عند عقد الوتر فإنه يمـكن اعتبـار المدادات مسانـد ، إذا كانـت تلك المدادات جزءاً من نظـام الأربطة ، أربطة الريح أو شكالات الريح . فلما كان رباط المدّادة في الجمل غير محكم شكل(٤ ـ ٢٦)وإنما يتم ببراغي في زاوية الرباط في نقطة أعلا من مستوى الوتر فإن ذلك الرباط لا يمنع من أن تتحرك المدادات في اتجاه تحنيب الوتر كما في الشكل (٤ ـ ٢٧) .

حتى يحـين الحديث عن أربطة الريح، نذكر هنا أن نظامها يكون في مستوى الوتر المعرض للضغط ويكون غالباً كالمبين بالشكل(٤ـ٢٨) فهو عبارة عن أقطار متقاطعة تضاف بين الوترين الرئيسين (للجملين) المراد سنـدهما بحيث يصبح هذان الوتران وترين في نظام الريح كما تصبح المدادات قوائـم ذلك النظام الذي يصبح قادرا على مقاومة القوى التي في مستواه ومنها ضغط الرياح، ومنها القوى التي تسبب التحنيب في الوتر . ويلزم أن يحتوي السطح



ا ـ مسقط رأسي



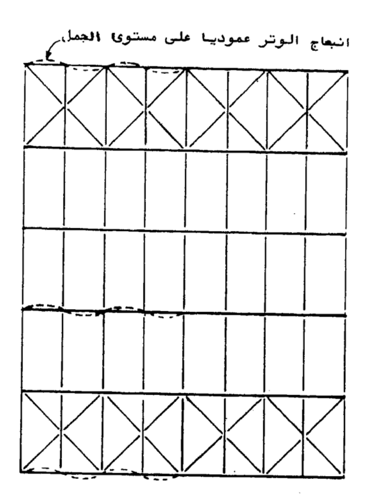
ب ـ مسقط أفقي

شكل (٤ ـ ٢٧) اعوجاج الوتر غير المسنود

على أكثر من نظام ، لأنه لا يمكن اعتبار المدادات أعضاء ضغط قادرة على سند الوتر بمفردها . فإذا زُوِّد السطح بأكثر من نظام أربطة ، عملت المدادات فيما بين الأنظمة بهيئة أعضاء شد لا ضغط، محملة على أحد النظامين .

ففي شكل (٤ ـ ٢٩) الوتران (١) و(٢) مسنودان بنظام الأربطة ، وإذا حدث تحنيب كما في (٣) فإن ذلك يسبب شدا في المدادات التي أسفله وإذا حدث تحنيب كما في (٤) فإنه يسبب شداً في المدادات التي أعلاه . وبذلك تعتبر الأوتار فيما بين نظامي أربطة الريح مسنودة .

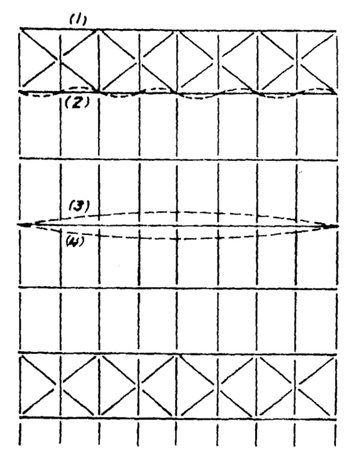
ويفضل ألا تتباعد أنظمة الأربطة عدداً كبيراً من الباكيات ، حتى لا يتجمع الخلوص الذي في الثقوب فتزيد فرصة حدوث التحنيب . وعندئذ يكون طول التحنيب ، عمودياً على مستوى الجمل ، هو المسافة بين



شكل (٤-٢٨) انبعاج الوتر المسنود

المدادات . ولا تكون ألواح التجميع فيما بين الجمال وأربطة الريح كبيرة المساحة في المعتاد لبساطة وصلات أعضاء الأربطة ، فهي بالتالي لا تقلل طول التحنيب عن المسافة بين المدادات .

وفي الجمل الموضح بالشكل (٤ - ٣٠) والمزود بمنور (شخشيخة) لا توضع مدادات في منطقة المنور وبالتالي يصبح الوتر العلوي غير مسنود في تلك المنطقة كما تكون قمة الجمل نقطة انكسار في عضو ضغط فهي نقطة ضعف ويجب سندها بإضافة عضو في مستوى نظام أربطة الريح .

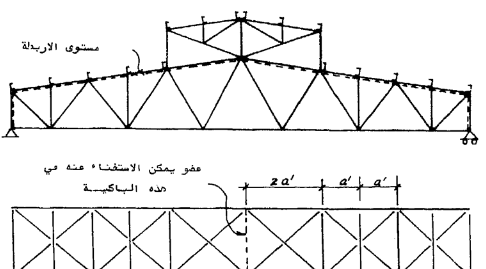


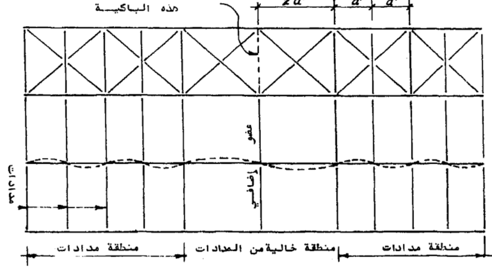
شكل (٤ - ٢٩)

ويلاحظ في هذه الحالة اختلاف طول التحنيب ، عمودياً على مستوى الجمل ، في المنطقة الخالية من المدادات إذ يصبح ضعف المسافة بين المدادات *(2 a')* مع مراجعة المعادلة *(17 -4)* حيث *a'* طول البانوه على السطح المائل .

وتحتاج الكوابيل إلى نظام خاصّ بها لأربطة الريح في مستوى الوتر السفلي وذلك للحد من طول التحنيب عمودياً على مستوى الجمل . في هذه الحالة تكون كل الأقطار والقوائم أعضاء مُضَافَةً . وفي شكل(٤ - ٣١)يكون طول التحنيب في المستوى العمودي على الجمل ضعف مسافة البانوه *(2a')* .

وبالطبع يمكن تصغير ذلك الطول أو زيادته بتعديل نظام الأربطة .





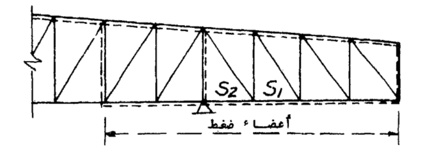
شكل (٤ - ٣٠)

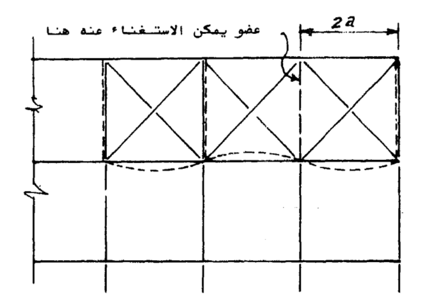
وهنا تظهر نقطة أخرى : فالمعلوم أن القوى في أعضاء الوتر السفلي للكابولي ليست ثابتة وإنما تتزايد كلما اتجهنا نحو الركيزة . ولا جدال في أن وتراً تختلف فيه القوتان على امتداد بانوهين يختلف عن وتر تتساوى القوتان في ضلعيه بمعنى أن قوة التحنيب الحرجة تكون أقل في الحالة الأولى وبالتالي يكون الجهد المسموح به أكبر . ويعادل هذا تقليل طول التحنيب في الحالة الأولى عنه في الحالة الثانية أي أنه في الحقيقة لا يساوي $2a$. وقد أظهرت الدراسات ما يلي :

في عضو طوله $2L$ معرض لضغطين مقداراهما S_1 و S_2 في نصفيه حيث $S_1 < S_2$ يكون طول التحنيب المخفض :

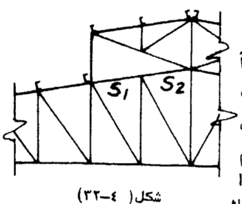
$$L_b = 2a\left(0,75 + 0,25\frac{S_1}{S_2}\right) \qquad (4-17)$$

وتكون كل من S_1 ، S_2 بعلامتها . كما لا يجوز أن يقل ذلك الطول عن a





شكل (٤-٣١) نظام الأربطة في مستوى الوتر السفلي

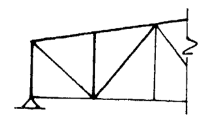


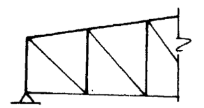
شكل (٤–٣٢)

وينطبق هذا التخفيض على طول التحنيب للوتر العلوي الأوسط عمودياً على مستوى الجمل لو كانت القوتان مختلفتين وذلك حينما يكون الجمل من طراز «N» كما هو واضح من الرسم المجاور في شكل(٤ - ٣٢) . ولهذا الموضوع دراسة مستفيضة في الفصل العاشر .

أعضاء الجذع (الأقطار والقوائم) :

النوع الأول - الجمال ذات الأقطار المفردة :





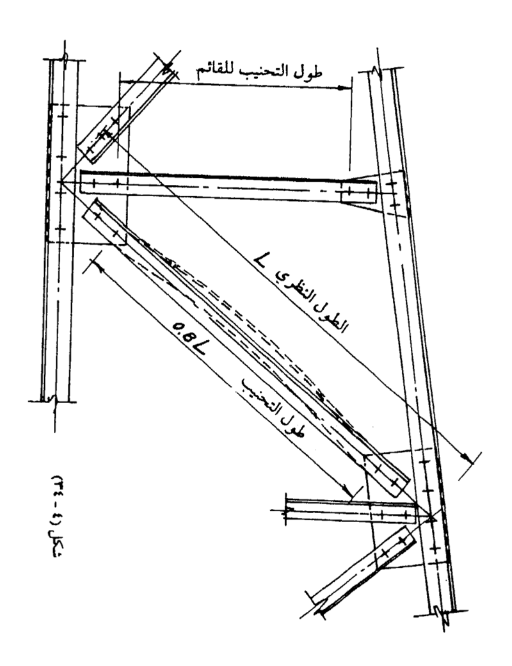
شكل (٤ - ٣٣) أعضاء الضغط قرب الركيزة

يوضح شكل(٤ - ٣٣)أعضاء الضغط بالجذع من أقطار وقوائم في جمل من طراز N وجمل من طراز W :

١ - التحنيب في مستوى الجمل :

يتضح من شكل ٤ - ٣٤ أن جساءة لوحي التجميع للقطر تقصر من طول التحنيب بحيث لا يصل إلى الطول النظري وإذا كان المحور (X) هو مستوى الجمل وكان (L) هو الطول النظري للقطر أو القائم فإن :

$L_{bx} = 0,80L$



شكل (٤-٣٤)

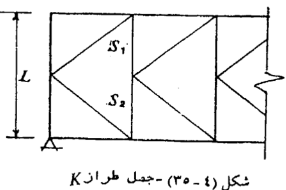
ب ـ التحنيب عموديا على مستوى الجمل :

تكون ألواح التجميع رقيقة بالنسبة إلى جساءة الأعضاء ويكون احتمال التحنيب شاملاً الطول كله ، ويكون :

$$L_{by} = L$$

النوع الثاني ـ الجمال ذات الأقطار المزدوجة

١ ـ جمل طراز (K) :



شكل (٤ ـ ٣٥) ـجمل طراز K

الأقطـــــار :

آ ـ في مستوى الجمل :
لا تكون وصلة القطر بالقائم مثل وصلــة القطـــر بالوتـــر ولذلك يزاد طول التحنيب في هذه الحالة ليصبح :

$$L_{bx} = 0.9L$$

ب ـ عمودياً على مستوى الجمل ـ نجد أن نقطة تقابل القطرين تقع على القائم وهو عضو ضغط فهي غير ثابتة .
وبذلك يكون

$$L_{by} = 1.2\ L$$

القوائم :

أ ـ في مستوى الجمـــل :

$$L_{bx} = 0.8\ \frac{L}{2}$$

ب ـ عمودياً على مستوى الجمل ـ فإنه نظراً لأن القوتين في القائم ليستا متساويتين فتطبق المعادلة (4 -17) :

$$L_{by} = L\left(0.75 + 0.25\ \frac{S_1}{S_2}\right) \qquad (4\text{-}17)$$

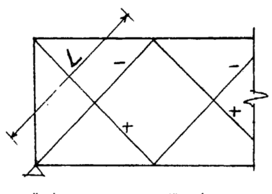
وفيها:

$S_2 > S_1$

$L_{by} \not< \frac{L}{2}$

٢ ـ جمل طراز المقص (Rhombic) :

الأقطـــار:



شكل (٤ - ٣٦) -جمل طراز المقص

أ ـ في مستوى الجمـــل $\qquad L_{bx} = 0.8\frac{L}{2}$

ب ـ عمودياً على مستوى الجمل ـ نظراً لأن أحد القطرين عضو ضغط والثاني عضو شد فإن نقطة التقاطع لا تكون حرة بل إن قوة الشد في قطر الشد تقاوم الانبعاج . وبذلك يكون

$L_{by} = 0.8L$

القائم الأول:

أ ـ في مستوى الجمل $\qquad L_{bx} = 0.8L$

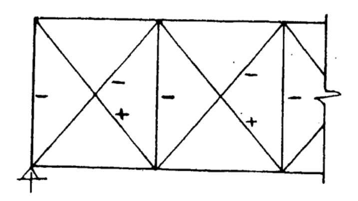
ب ـ عمودياً على مستوى الجمل $\qquad L_{by} = L$

٣ ـ جمل طراز الأقطار المتقاطعة - (Crossed Diagonals) :

الأقطـــار :

أ ـ في مستوى الجمل $L_{bx} = 0.8 \frac{L}{2}$

ب ـ عمودياً على مستوى الجمل :



شكل (٤ ـ ٣٧) ـ جمل طراز الأقطار المتقاطعة

يتوقف طول التحنيب على ما إذا كانت عقد وتر الضغط مسنودة أم لا :

العقد غير مسنودة $L_{by} = L$

العقد مسنودة $L_{by} = 0.8L$

القوائـــم :

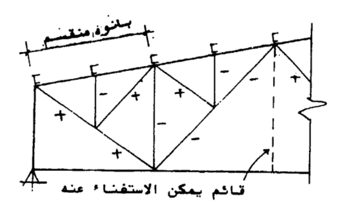
أ ـ في مستوى الجمل $L_{bx} = 0.85L$

ب ـ عمودياً على مستوى الجمل $L_{by} = L$

٤ ـ جمل طراز البانوهات المنقسمة :

الأقطـــار :

أ ـ في مستوى الجمل



شكل (٤ ـ ٣٨) ـ جملذو بانوهات منقسمة

$$L_{bx} = 0.8 \frac{L}{2}$$

ب ـ عمودياً على مستوى الجمل: $L_{by} = L$

ويلاحظ هنا أن هناك فرقاً طفيفاً في القوتين في جزئي القطر لا يستدعي استخدام المعادلة *(17 - 4)* .

القوائم :

أ ـ في مستوى الجمل $L_{bx} = 0.8L$

ب ـ عمودياً على مستوى الجمل $L_{by} = L$

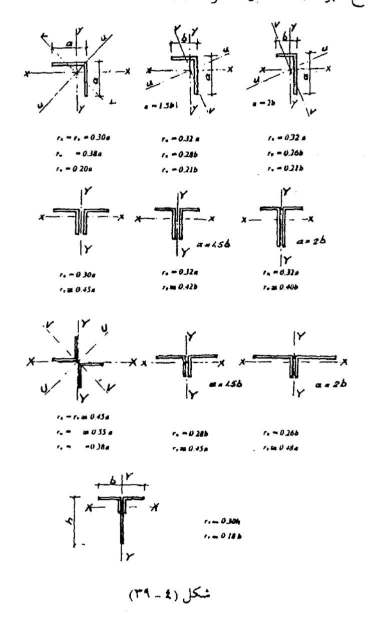
ثانياً ـ نصف قطر العطالة *(r)* ـ *(Radius of Gyration)* :

سبق ان أشرنا إلى أنه توجد لمقاطع الصلب علاقة فيما بين مقاسات المقطع ونصف قطر العطالة حول كل من محوريه الرئيسين .

ويمكن استنتاج هذه العلاقة من مراجعة جداول المقاطع ، إذا كانت المقاطع جاهزة . كما يمكن استنتاج العلاقة بين مقاسات مقطع مبني ونصف قطر العطالة حول كل من محوريه الرئيسين . ويكفي للاختيار المبدئي لمقطع

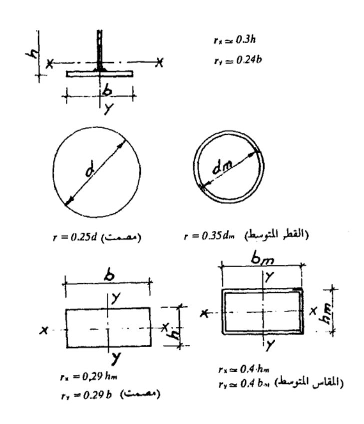
معرفة قيمة تقريبية لنصفي قطر عطالته . ونبين فيما يلي قيما تقريبية لنصف قطر العطالـة حول كل من المحـورين الرئيسـين للمقاطـع المستخدمـة لأعضـاء جمالونات الأسقف :

أ ـ المقاطع المبرشمـة ، (أوالملحومـة):



شكل (٤ ـ ٣٩)

ب ـ المقاطع الملحومة :



شكل (٤ ـ ٤٠)

ثالثاً ـ اختيار المقطع (Choice of section) :

سبق أن أشرنا إلى أنه في المعادلة (4 - 16) .

$$A_{req} = \frac{C}{f_{pb}} \qquad (4-16)$$

من الأنسب فرض الجهد المسموح به في التحنيب f_{pb} ، حيث منه نحسب المساحة التي يتطلبها ذلك الفرض . كما أن فرض ذلك الجهد يؤدي إلى استنتاج نسبة النحافة $\frac{L_b}{r}$ المقابلة له . ولذلك يفضل فرض ذلك الجهد $f_{pb} = 700\ kg/cm^2$ ، لأن نسبة النحافة التي تقابله هي 100 . وبمعرفة L_b نحصل على (r) التي توافق المساحة المحسوبة . وبمعرفة شكل المقطع المراد

استخدامه يمكن استنتاج مقاس المقطع بتناسبه مع قيمة (r) كما في :شكل $(4-39)$ وشكل $(4-40)$.

وهكذا حصلنا على المساحة المطلوبة للمقطع (A) كما حصلنا على المقاس الذي يجب أن يكون عليه المقطع الذي مساحته (A) والأغلب ألا يكون الرقمان : المساحة والمقاس للمقطع نفسه ؛ ولذلك نجري التوفيق بينهما بانقاص أحد الرقمين وتعلية الآخر لكي نحصل على المقطع المناسب . ولكي نحصل على مقطع مكون من زاويتين متظاهرتين نجري الخطوات التالية :

Given C in Kg و L_b in cm

Let $f_{pb} = 700\ Kg/cm^2 \longrightarrow$ for which $\frac{L_b}{r} = 100$

$$A_{req} = \frac{C}{700}\ cm^2 \qquad r_x = \frac{L_{bx}}{100}\ cm.$$

For a section of $2L^2$:

$$r_y = \frac{L_{by}}{100}\ cm$$

$$A\ of\ 1L = \dots\ cm^2 \qquad a_x = \frac{r}{0.3}$$

$$a_y \simeq \frac{r}{0.45}$$

والأكبر في القيمتين a يقارن بالقيمة $A\ of\ 1\ L$

ولتوضيح ذلك نورد الأمثلة التالية :

مثال (٤ ـ ١٠) ـ المطلوب اختيار مقطع مكون من زاويتين متظاهرتين لعضو ضغط يحمل ١٣,٢ طنا ـ طول التحنيب في الاتجاهين ٢,١٠ متر .

Let $f_{pb} = 700\ Kg/cm^2$ for which $\frac{L_b}{r} = 100$

$$A_{req} = \frac{13200}{700}$$

$= 18.8\ cm^2$

$A\ of 1L = 9.4\ cm^2$

$$r_x = r_y = \frac{210}{100} = 2.1 cm$$

$$a_x = \frac{2.1}{0.3} = \underline{7.0}\ cm$$

$$a_y \cong \frac{2.1}{0.45} = 5.8\ cm$$

∴ مطلوب زاوية مقاس رجلها ٧سم ومساحة مقطعها ٩,٤ سم٢.

ومن الجداول نجد أن الزاوية ٧٠ × ٧٠ × ٧ مساحتها ٩,٤ سم٢ ومن الواضح أن هذا المقاس هو المطلوب . ويلزم حساب الجهد الفعلي في المقطع المكون من هاتين الزاويتين ومقارنته بالجهد المسموح به:

$$2L^s\ 70 \times 70 \times 7 : A = 2 \times 9.4\ cm^2 - r_x = 2.12\ cm$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{210}{2.12} = 99 < 100$$

$$\therefore f_{pb} = 1300 - 0.06 \times 99^2 = 712\ Kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{13200}{2 \times 9.4} = 691\ Kg/cm^2 \qquad O.K.$$

مثال (٤ ـ ١١) ـ في المثال السابق ماذا سيكون المقطع لو كان طول التحنيب في الاتجاهين ٤,٢٠ متر .

$Let\ f_{pb} = 700\ Kg/cm^2$ $\quad$ $for\ which\ \frac{L_b}{r} = 100$

$$A_{req} = \frac{13200}{700} = 18.8\ cm^2$$

$$r_x = r_y = \frac{420}{100} = 4.2\ cm$$

$A\ of 1\ L = 9.4\ cm^2$

$$a_x = \frac{4.2}{0.3} = \underline{14.0}\ cm$$

$$a_y = \frac{4.2}{0.45} = 9.3 \ cm$$

وبالطبع لا توجد زاوية مقاس رجلها ١٤ سم ومساحة مقطعها ٩,٤ سم٢ ولكن بالبحث في الجدول نجد أن :

$L\ 140 \times 140 \times 13$	$A = 35.0\ cm^2$	*too big*
$L\ 70 \times 70 \times 7$	$A = 9.4\ cm^2$	*too small*

فالزاوية ١٤٠ تحقق شرط المقاس ولكن مساحتها أكثر مما هو مطلـوب لذلك المقاس فهي زاوية أكبر من اللازم .

والزاوية ٧٠ مقاسها أصغر من المطلوب وبالتالي نصف قطر عطالتهـا وبذلك تزيد قيمة $\frac{L_b}{r}$ وعندئذ يقـل الجهـد المقابـل لتلك القيمـة عن ٧٠٠ كج/ سم٢ وذلك يتطلّب مساحة أكبر من ٩,٤ سم٢؛ وعلى ذلك فهذه الزاوية لا تصلح ، لأنها أصغر من اللازم . وسيكون هنـاك مقـاس لزاوية فيما بـين المقاسين المذكورين يوفق فيما بين المساحة والمقاس بحيث يصلح لتحمل القوة المؤثرة .

إذاً لنجرب الزاوية الوسط : ١٠٠ × ١٠٠ × ١٠ :

Let us try $2L^s\ 100 \times 100 \times 10$:

$A = 2 \times 19.2 = 38.4\ cm^2$, $r_x = 3.04\ cm$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{420}{3.04} = 138 > 100$$

$$f_{pb} = \frac{7\ 000\ 000}{(138)^2} = 368\ Kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{13\ 200}{38.4} = 338\ Kg/cm^2 \qquad O.K.$$

مثال (٤ - ١٢) - في المثال السابـق ماذا سيكون المقطـع لو كان طول التحنيب في الاتجاهين ١,٠٥ م .

$Let f_{pb} = 700\ Kg/cm^2$

$A_{req} = \frac{13\ 200}{700} = 18.8\ cm^2$

$A\ of\ 1L = 9.4\ cm^2$

for which $\frac{L_b}{r} = 100$

$r_x = r_y = \frac{105}{100} = 1.05\ cm$

$a_x = \frac{1.05}{0.3} = \underline{3.5}\ cm$

$a_y = \frac{1.05}{0.45} = 2.5\ cm$

من الجـــداول:

L 70× 70× 7	$A = 9.4\ cm^2$	too big
L 35 × 35 × 3*	$A = 2.04\ cm^2$	too small

*(أصغر مقاس للزاوية يمكن استخدامه ٤٥ × ٥ - وقد رصدت تلك الزاوية هنا لمجرد التسجيل)

Try 2L' 60 × 60 × 6

$A = 2 \times 6.91 = 13.82\ cm^2\ ,\ r_x = 1.82\ cm$

$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{105}{1.82} = 58 < 100$

$f_{pb} = 1300 - 0.06 \times 58^2 = 1098\ Kg/cm^2$

$f_{act} = \frac{13\ 200}{13.82} = 941\ Kg/cm^2$ O.K.

مثال (٤ - ١٣) - وتر معرض لقوة ضغط مقدارها ٢, ١٣ طن وطوله في مستوى الجمل ١٠, ٢ م ومسنود عمودياً على مستوى الجمل على مسافة طولين والمطلوب اختيار مقطع مكون من زاويتين متظاهرتين .

Given : $C = 13{,}200\ Kg\ ,\ L = 210\ cm$

$L_{bx} = 0.85 \times 210 = 179\ cm - L_{by} = 2 \times 210 = 420\ cm$

$Let\ f_{pb} = 700\ Kg/cm^2\ for\ which\ \frac{L_b}{r} = 100$

$A_{req} = \frac{13200}{700}$ $\qquad r_x = \frac{179}{100} = 1.79\ cm$

$= 18.8\ cm^2$ $\qquad r_y = \frac{420}{100} = 4.20\ cm$

$A\ of\ 1\ L = 9.4\ cm^2$ $\qquad a_x = \frac{1.79}{0.3} = 6.0\ cm$

$a_y = \frac{4.20}{0.45} = \underline{9.3}\ cm$

من الجداول :

$L\ 70 \times 70 \times 7$	$A = 9.4\ cm^2$	too small
$L\ 100 \times 100 \times 10$	$A = 19.2\ cm^2$	too big

$Try\ 2L^s\ 80 \times 80 \times 8 - A = 2 \times 12.3 = 24{,}6\ cm^2$

$r_x = r_y = 2.42\ cm - e_x = 2.26\ cm$

$r_Y = \sqrt{(2.42)^2 + (2.26 + 0.5)^2}$

$= 3.67\ cm$

$\frac{L_{by}}{r_Y} = \frac{420}{3.67} = \underline{114} > 100$

$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{179}{2.42} = 74$

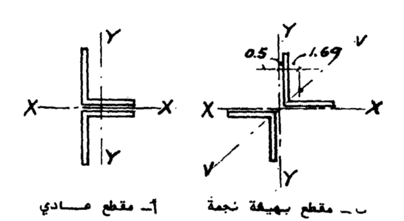
X X Y Y 1.0 0.5 2.26

شكل (٤ - ٤١)

$f_{pb} = \frac{7\ 000\ 000}{(114)^2} = 539\ Kg/cm^2$

$f_{act} = \frac{13200}{24.6} = 537\ Kg/cm^2 \qquad O.K.$

مثال (٤ - ١٤) - المطلوب تصميم مقطع مكون من زاويتين بشكل نجم لقائم طوله ٢,١٠ متر ويحمل ١٣,٢ طناً .



X-X هو مستوى الجمل

Y-Y هو المستوى العمودي على مستوى الجمل

شكل (٤ - ٤٢)

$C = 13\,200\,kg$

$L_{bx} = L_{bV} = 0.8 \times 210 = 168\ cm$

$L_{bY} = 210\ cm$

Let $f_{pb} = 700\ Kg/cm^2$ for which $\dfrac{L_b}{r} = 100$

$A_{req} = \dfrac{13200}{700}$ $\qquad r_x = \dfrac{168}{100} = 1.68\ cm$

$= 18.8\ cm^2$ $\qquad r_Y = \dfrac{210}{100} = 2.10\ cm$

$A\ of\ 1L = 9.4\ cm^2$ $\qquad a_v = \dfrac{1.68}{0.38} = 4.4\ cm$

$a_Y = \dfrac{2.10}{0.45} = \underline{4.7}\ cm$

$L\ 70 \times 70 \times 7$ $\qquad A = 9.4\ cm^2$ $\qquad$ too big

$L\ 50 \times 50 \times 5$ $\qquad A = 4.8\ cm^2$ $\qquad$ too small

$T_{ry}\ 2L^s\ 60 \times 60 \times 6$ ، $A = 2 \times 6.91 = 13.82\ cm^2$ ، $e_x = 1.69 cm$

$r_u = r_v = 2.29\ cm\ ,\ r_x = 1.82\ cm$

$$\frac{L_{bv}}{r_v} = \frac{168}{2.29} = 74$$

$$r_Y = \sqrt{(1.82)^2 + (1.69 + 0.5)^2} = 2.85\ cm$$

$$\frac{L_{bY}}{r_Y} = \frac{210}{2.85} = 74$$

$$f_{pb} = 1300 - 0.06 \times 74^2) = 971\ Kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{13200}{2 \times 6.91} = 955\ Kg/cm^2 \qquad O.K.$$

ملحوظـة : يحتـاج هذا العضـو إلى زاويتـين ٦٥ × ٧ إذا استخدمنـا زاويتين متظاهرتين .

عضو الضغط الموصول وصلا غير مركزي :

(Eccentrically — connected compression members)

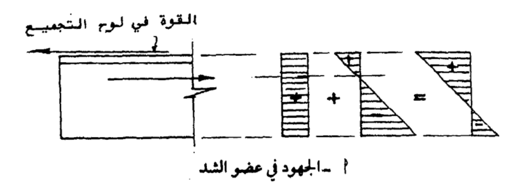
سبق أن أوضحنا أن عضو الشد الموصول وصلا غير مركزي يتعـرض لعزم حني بالإضافـة إلى القـوة المحـورية وأنـه لذلك تزداد جهـود الشـد في المقطع ، وأنه في مقابل تلك الزيادة يخصم جزء من مقطع الزاوية .

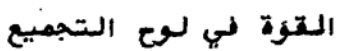
وكذلك فإن عضو الضغط الموصول وصلا غير مركزي يتعرض لعزم حني بالإضافة إلى القوة المحورية ، وتزداد جهود الضغط في المقطع .

ولما كان العضو إذا تعرض لقوة ضغط يكون أسوأ حالا مما لو كانت القوة شدا ، بمعنى أنه يحتاج لمقطع أكبر ، فإنه ينتظر أن يكون الخصم في المقطع في حالة الضغط أكبر منه في حالة الشد . وتنص المواصفات على الآتي : إذا وصل عضو ضغط وصلا غير مركزي اعتبر له جهـد تشـغيل قدره ٦٠٪ من جهـد التحنيب المسموح به :

Working buckling stress = 0.60 Permissible buckling stress

$f_{wb} = 0.60\, f_{pb}$







شكل (٤ - ٤٣)

مثال (٤ - ١٥) - المطلوب تصميم مقطع مكون من زاوية واحدة ليتحمل قوة ضغط قدرها ٢,٠ طن ، إذا كان طول التحنيب ٢,١٠ متر

$Let\ f_{pb} = 700\ Kg/cm^2$ for which $\frac{Lb}{r} = 100$

$\therefore f_{wb} = 0.6 \times 700 = 420\ Kg/cm^2$

$r_{min} = r_v = \frac{210}{100} = 2.1\ cm$

$A_{req} = \frac{2000}{420} = 4.76\ cm^2$

$a = \frac{2.1}{0.2} = 10.5\ cm$

$L\, 50 \times 50 \times 5$: $A = 4.80\ cm^2$ too small

$L\,110 \times 110 \times 10 \quad : \qquad A = 21.2\ cm^2 \qquad$ too big

$T_{ry}\,1L\,75 \times 75 \times 7\ ,\ A = 10.1\ cm^2\ ,\ r_v = 1.45\ cm$

$$\frac{L_{bv}}{r_v} = \frac{210}{1.45} = 145$$

$$f_{pb} = \frac{7\,000\,000}{(145)^2} = 333\ Kg/cm^2$$

$$f_{wb} = 0.60 \times 333 = 200\ Kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{2\,000}{10.1} = 198\ Kg/cm^2 \qquad \therefore \quad (O.K.)$$

وبمقارنة مقطع مكون من زاويتين :

$2L^s\,45 \times 45 \times 5\ ,\ A = 2 \times 4.30 = 8.60\ cm^2\ ,\ i_x = 1.35\ cm$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{210}{1.35} = 156$$

$$f_{pb} = \frac{7\,000\,000}{(156)^2} = 288\ Kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{2000}{8.60} = 233\ Kg/cm^2$$

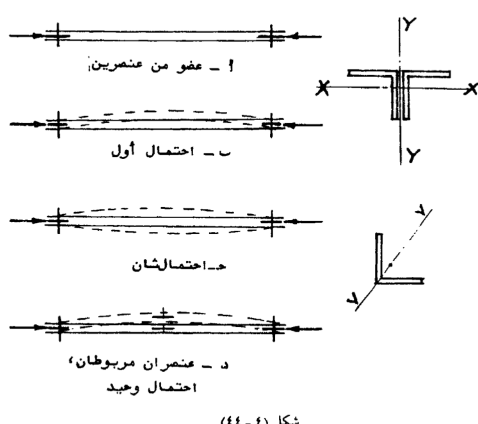
فهذا المقطع أكثر اقتصاداً كما أنه يكون غير معرض للتحنيب المصحوب بالتواء . ولكن إذا كان مقاس أصغر زاوية يمكن استخدامها مقيداً بقطر المسمار فقد نضطر مثلاً لاستخدام زاويتين ٦٥ × ٧ (إذا كان قطر المسمار ٢٠ مم) ومساحتها ١٧,٤٠ سم٢ فتكون الزاوية الواحدة في هذه الحالة أكثر اقتصاداً .

ولا تستخدم الزاوية الواحدة في الجمال الحاملة إلاّ في الأقطار أو في

القوائم غير المجهدة أو التي لا تحمل سوى ثقل المدادة . إلا أنها تستخدم بكثرة في أعضاء الأربطة وشكالات الريح .

ألواح الربط *(Tie plates)*

إذا تعرض عضو مكون من عنصرين (شكل ٤ ـ ٤٤) لقوة ضغط تتزايد فإن التحنيب يحتمل أن يحدث للعنصرين سويا (شكل ب) . أو منفردين (شكل حـ) ويتوقف ذلك على قيمة $\frac{L_b}{r}$ في كلتي الحالتين :



شكل (٤ ـ ٤٤)

فإذا انبعج العنصران معا في عضو مكون من زاويتين متساويتين كان :

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{3.3 L_{bx}}{a} \qquad (r_x = 0.3\,a) \;....(a)$$

وإذا انبعج العنصران منفصلين كان :

$$\frac{L_{bv}}{r_v} = \frac{5.0\, L_{bv}}{a} \qquad (r_v = 0.2a) \;..... (b)$$

ولما كان L_{bv} يساوي L_{bx} إن لم يكن أكبر منه فإن احتمال التحنيب للزاوية الواحدة أكثر من احتمال التحنيب لزاويتين وتصبح نسبة النحافة أكبر بمقدار ٥٠٪ ولا يكون التصميم الذي يفترض أن الزاويتين تعملان معاً صحيحاً . ويتساوي احتمال التحنيب للعنصرين معا مع احتمال التحنيب للعنصر الواحد إذا كان طول التحنيب في الحالة الأخيرة $\frac{2}{3} L_{bx}$ حيث بمساواة المعادلتين (a) ، (b) :

$$\frac{L_{bv}}{0.2a} = \frac{L_{bx}}{0.3a}$$

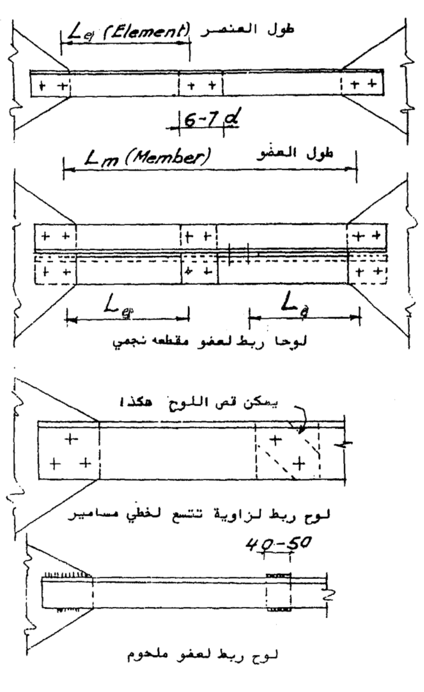
$$\therefore L_{bv} = \frac{2}{3} L_{bx}$$

فإذا ربط العنصران معاً في منتصف الطول كان احتمال التحنيب للعنصرين معا أكثر من احتمال التحنيب لكل عنصر على انفراد . إذ تكون نسبة نحافة كل من عنصري العضو $\frac{2}{3}$ نسبة نحافة العضو . وهذا ما تنص عليه المواصفات ، إلا أنها تضيف على ذلك أنه يجب ألا تزيد نسبة نحافة العنصر على ٦٠ . هذا وتنص بعض المواصفات على أنه يجب ألا يزيد الطول الحر للعنصر على ٣٠ سم وبعضها على ٦٠ سم .

وعلى هذا يجب ربط عنصري الضغط أو عناصره بعضها ببعض بحيث تحقق الشرطين المذكورين ويكون ذلك باستعمال ألواح رباط ، تربط إما بالبراشيم وإما باللحام .

ربط أعضاء الضغط:

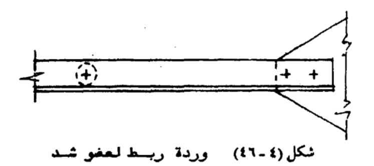
يربط عنصرا عضو الضغط بلوح سمكه يساوى سمك لوح التجميع ويتسع لمسمارين . ويحتاج العضو المكون من زاويتين بشكل نجمي إلى لوحين متعامدين كما في شكل (٤ ـ ٤٥) .



شكل (٤ - ٤٥)- ألواح ربط الأعضاء

ربط أعضاء الشد :

رغم أنه ليس لازماً ، إلا أن عنصري عضو الشد يربطان كما في أعضاء الضغط وذلك لزيادة جساءته . إلا أنه يمكن أن يكون الرباط بمسمار واحد مع استعمال وردة مستديرة ؛ وهي بالطبع مكلفة في عملها . ولكن لا ينصح باستعمال لوح مستطيل الشكل أو مربع به مسمار واحد لاحتمال أن يدور أثناء عملية الدق.



شكل (٤ - ٤٦) وردة ربط لعضو شد

قيود إضافية :

إن تصميم الأعضاء ، أي الحصول على المساحة المطلوبة للعضو استيفاءً للمجهود المسموح بها ليس هو الحكم دائماً في اختيار المقاطع ، إذ أن جساءة الأعضاء أمر مطلوب للأسباب الآتية :

أولا : مقاومة الترخيم (سهم الانحناء) *(Deflection)* . وفي هذا الشأن تضع المواصفات حدوداً للكمرات كالآتي :

١ ـ ألا يقل العمق عن $\frac{١}{٤٠}$ من الفتحة للمدادات ، ويستحسن الا يقل عن $\frac{١}{٣٠}$ من الفتحة ، ولا عن $\frac{١}{٢٤}$ من الفتحة لكمرات الأسقف ولا عن $\frac{١}{٢٠}$ لكمرات الأسقف المعرضة لصدمات أو ذبذبات .

٢ ـ ألا يزيد سهم الانحناء عما يلي :

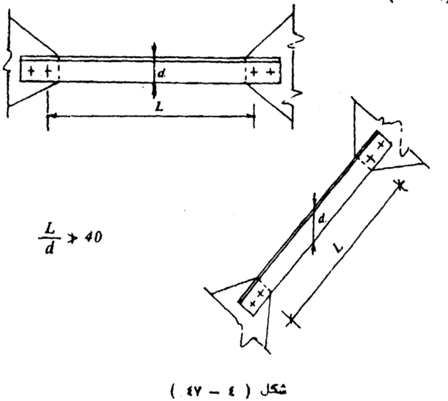
أ ـ $\frac{1}{360}$ من الفتحة في المباني العادية، ويستحسن ألا يقل عن $\frac{1}{400}$ من الفتحة.

ب ـ $\frac{1}{700}$ من الفتحة في جسور الطرق.

حـ ـ $\frac{1}{900}$ من الفتحة في جسور سكة الحديد وكمرات الأوناش والمرفاعات.

ثانياً: مقاومة الترخيم وكذلك مقاومة الهزات التي قد تسببها الآلات الدائرة والمكابس وغيرها. وفي هذا الشأن تضع المواصفات الحدود الآتية للأعضاء:

أ ـ ألا يقل عمق العضو عن $\frac{1}{40}$ من طوله الحر كما في شكل (٤ ـ ٤٧).



شكل (٤ ـ ٤٧)

ب ـ ألا تزيد نسبة النحافة على الحدود الآتية :

	نسبة النحافة $\frac{L_e}{r}$ لا تزيد على:	
	الأعضاء الثانوية	الأعضاء الرئيسية
أعضاء الضغط	200	180
أعضاء الشد	300	300

ثالثاً : قيود على سمك العضو ومقاسه :

أ ـ ألا يقل سمك أي عنصر عن ٥مم .

ب ـ ألا يقل مقاس الزاوية المتساوية عن ٤٥ × ٤٥ × ٥ والزاوية غير المتساوية عن ٤٥ × ٣٠ × ٥ .

جـ ـ أن يكون مقاس رجل الزاوية (a) بالنسبةلقطر المسمار المستخدم (d) كما يلي :

$$a = 3d + t \qquad \text{(تقريبا)}$$

حيث (t) سمك رجل الزاوية

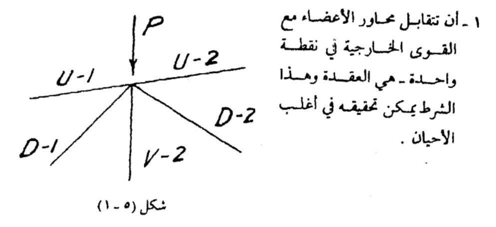
الفصل الخامس

حساب المفاصل

(*Calculation of Joints*)

المفصل او العقدة ، حيث تتقابل أعضاء الكمرات الشبكية والجمالونات ، هي النقطة التي تتقابل فيها القوى التي في الأعضاء وتقابل القوى الخارجية إذا ما وجدت ، حيث تكون في حالة اتزان . لكي لا تتعرض العقدة لعزوم حني يلزم :

١ ـ أن تتقابل محاور الأعضاء مع القوى الخارجية في نقطة واحدة ـ هي العقدة وهذا الشرط يمكن تحقيقه في أغلب الأحيان .

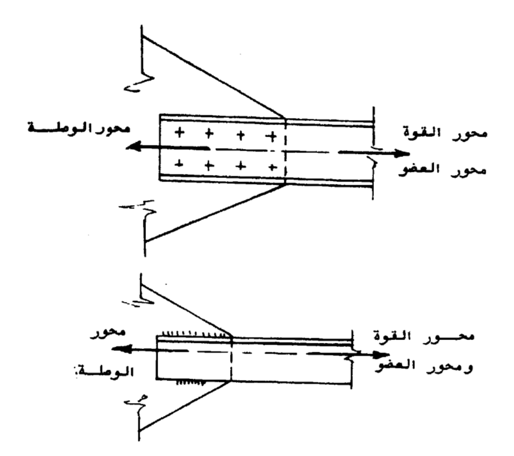


شكل (٥ ـ ١)

٢ ـ أن ينطبق خط القوة في العضو (محور العضو) مع محور وسائل نقل القوة ، وهذا الشرط يمكن تحقيقه في حالتين :

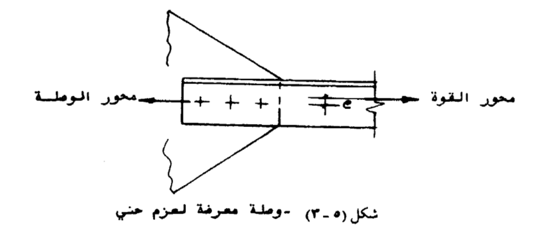
أ ـ المقاطع العريضة التي تتسع لصفين او أكثر من المسامير .

ب ـ الأعضاء الملحومة .



شكل (٥ - ٢) وصلة محورية

أما العضو المكون من زاوية أو زاويتين وموصول بالمسامير فإن وصلته تكون معرضة لعزم حني وبالتالي العضو نفسه ، شكل (٥ - ٣) .

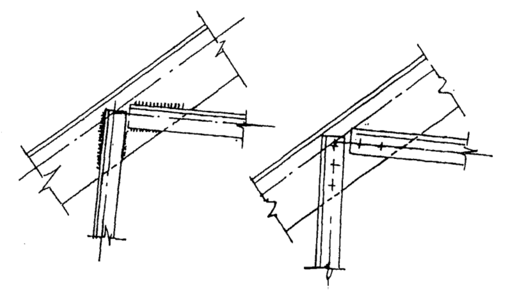


شكل (٥ - ٣) -وصلة معرضة لعزم حني

الوصلات المباشرة :

يمكن أن تتصل أعضاء الجذع بالوتر مباشرة في حالتين :

١ ـ إذا كان مقطع الوتر على شكل *(T)* ، سواء كانت الوصلة مبرشمة أم ملحومة كما في شكل (٥ ـ ٤) :

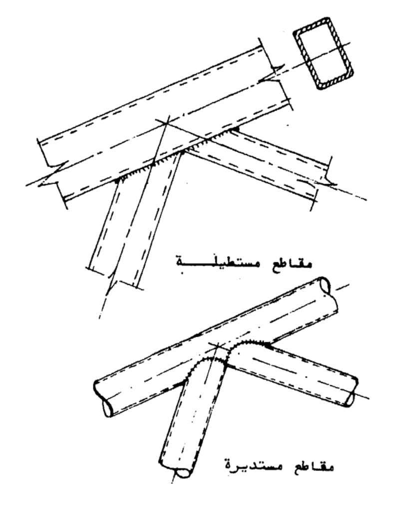


أ ـ وصلة مباشرة مبرشمة   ب ـ وصلة مباشرة ملحومة

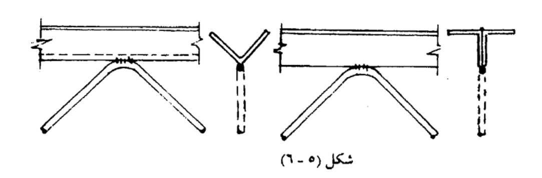
شكل (٥ ـ ٤) ـ الوصلة المباشرة

ب ـ إذا كانت أعضاء الجمل من القطاعات الأنبوبية *(Tubular sections)* الملحومة الوصلات كما في شكل (٥ ـ ٥) :

جـ ـ في الكمرات الشبكية الخفيفة والتي أقطارها عبارة عن قضبان مستديرة أو مربعة كما في شكل (٥ ـ ٦) :



شكل (٥ ـ ٥) ـ وصلة مقاطع أنبوبيــة



شكل (٥ ـ ٦)

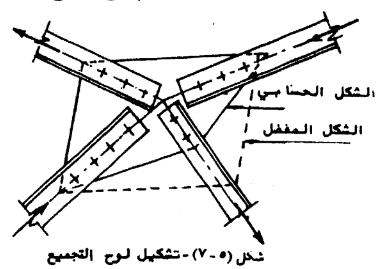
وتتطلب الوصلات عادة « إناء » تصب فيه أو تسحب منه القوى لتكون دائماً في اتزان . وهذا « الإناء » هو لوح التجميع *(Gusset plate)* .

ويتحدد سـ ا لوح التجـ ـيع بدراسة الجهود الناشئة عن القوى المؤثرة فيه . كما أن لهذا . ـمك تأ أ على مقاومة المسمار حيث يدخل في مقاومة التحميل . أما مقاس لوح التجميع فتحدده الأطوال التي تشغلها عناصر الربط من مسامير أو لحام . ويفضل ـ ااا ذلك كـ ـ أن يكون مقاس اللوح أصغر ما يمكن حتى تقل الجهود الثانوية الناشئة عن عزوم التثبيت . كما يفضل في لوح التجميع :

أ ـ أن يكون مستطيل الشكل أو يكون له على الأقل ضلعان متوازيان حتى لا تهدر أجزاء كبيرة من ألواح الفولاذ عند تفصيل ألواح التجميع .

ب ـ أن يكون عدد أضلاعه أقل ما يمكن ، لتجنب تكرار عملية القص والمناولة توفيراً للوقت والعمالة . وهما عنصران من عناصر تكلفة التصنيع .

ويتحكم عادة في مقاس لوح التجميع القطر الأكبر قوة ، ولذلك يُبتدأ به في توزيع المسامير وتكون أبعاد مساميره هي الحدود الدنيا للخطوة وللمسافات الطرفية ، ومنه يكمل توزيع المسامير في باقي الأعضاء ، دون التقيد بالحدود الدنيا ، ولكن لعمل شكل ملائم للوح التجميع (شكل ٥ ـ ٧)

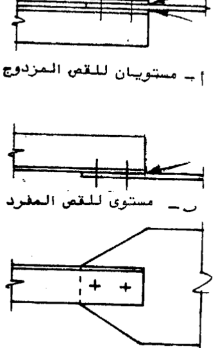


شكل (٥ ـ ٧) ـ تشكيل لوح التجميع

حساب المفصل

عدد المسامير (n) اللازمة لوصل عضو يحمل قوة قدرها (S) إلى لوح التجميع :

$$n = \frac{S}{R_{least}} \qquad (5-1)$$

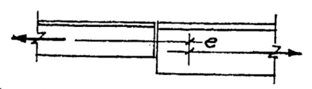


شكل (٥ ـ ٨)

حيث R_{least} هي المقاومة الأقل للمسمار من القيمتين : مقاومة القص ومقاومة التحميل . وتجب ملاحظة أنه إذا كان العضو موصولاً على كل من وجهي لوح التجميع فإن المسامير تعمل في قص مزدوج (شكل ٥ ـ ٨ أ) أما إذا كان موصولاً في وجه واحد فإن المسامير تعمل في قص مفرد (شكل ٥ ـ ٨ ب) . ومن الوجهة النظرية فإن القوى ـ خارجية وداخلية عند مفصل تكون في اتزان ، إلا :

١ ـ إذا انتقلت إحدى القوى عن نقطة التقاطع وفي هذه الحالة يحدث في المفصل عزم حني ينتقل بدوره إلى الأعضاء في تلك النقطة ، كل بنسبة جساءته المتعلقة بعزم الحني وهي $\frac{I}{L}$.

ولعل هذا من الأسباب التي حدت إلى تفضيل أن تكون أعضاء الوتر من نفس المقطع حتى يكون المحور الطولي للعضوين على استقامة واحدة .



شكل (٥ ـ ٩) ـ عزم حني عند وصل مضوي وتر مختلفي المقطع

٢ ـ عندما لا تكون القوى القصوى في الأعضاء المتقابلة في مفصل ناشئة عن حالة واحدة من التحمل .

ففي الوصلة الموضحة ، بشكل (٥ ـ ١٠) ، لكي تكون القوى في حالة اتزان يجب أن تكون محصلة القوى في اتجاهين متعامدين مساوية للصفر ، أي أن :

$$L_2 - L_1 = D_1 \cos\theta_1 + D_2 \cos\theta_2$$

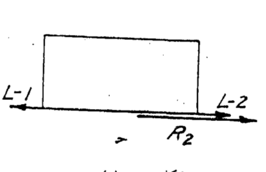
(5–2 a)

$$V = D_1 \sin\theta_1 - D_2 \sin\theta_2$$

(5–2 b)

(سميت القوى تجاوزاً بأسماء الأعضاء) .

ولندرس الآن حالة لوح التجميع تحت تأثير هذه القوى :



شكل (٥ ـ ١٠)

أ ـ عند نقل القوى في أعضاء الجذع إلى لوح التجميع فإن اللوح يتحرك في اتجاه محصلة القوى (R_1) (شكل ٥ ـ ١٠ب) لولا أن يكون مربوطاً في الوتر بمسامير تقاوم تلك المحصلة .

ب ـ كما أن الوتر يتحرك في اتجاه المحصلة R_2 للقوتين في عضويه ، لولا أن يكون مربوطاً في لوح التجميع بمسامير تقاوم تلك المحصلة .

فإذا لم تكن المحصلتان متساويتين وجب ربط الوتر في لوح التجميع بمسامير تقاوم المحصلة الأكبر قيمة .

وهناك فرق بين أن يكون الوتر مستمراً أي يكون العضو ممتداً عبر العقدة ، وبين أن يكون كل من جزءيه منفصلاً عند العقدة :

أ ـ فإذا كان الوتر منفصلاً ، ربط كل من عضويه في لوح التجميع بمسامير تقاوم القوة التي ينقلها ، شأنهما في ذلك شأن أعضاء الجذع .

ب ـ وإذا كان الوتر متصلاً ، ربط في لوح التجميع بمسامير تقاوم أكبر قيمة من المحصلتين :

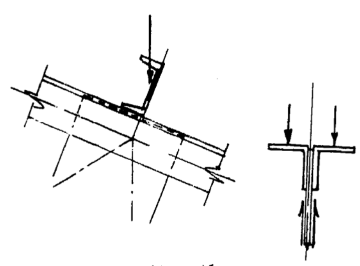
$$R_1 = D_1 \cos\theta_1 + D_2 \cos\theta_2 \qquad (5\text{-}3a)$$

$$R_2 = L_2 - L_1 \qquad (5\text{-}3b)$$

ويكون مجموع المسامير في عضوي الوتر المنفصل أكبر مما في الوتر المتصل إذا كانت للقوتين L_1 و L_2 الإشارة نفسها ولكنهما يتساويان إذا اختلفت الإشارتان .

المفصل المحمل (Loaded joint):

تكون عقد الوتر العلوي محملة بالمدادات ، ولما كان حرف لوح التجميع يكون دائماً غاطساً عن سطح زاويتين الوتر (سواء الوتر العلوي أو السفلي) فإن الحمل من المدادة ينتقل إلى لوح التجميع عن طريق رجلي الزاوية المربوطتين فيه ، وبذلك تتعرض المسامير التي تربط الوتر بلوح التجميع إلى قوة إضافية مباشرة عبارة عن الحمل من المدادة .



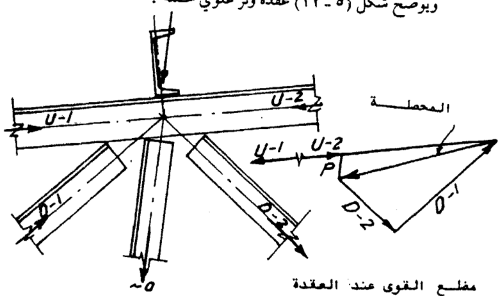
شكل (٥ ـ ١١)

وبذلك تحسب تلك المسامير على القوة الأكبر من :

آ ـ محصلة القوتين في الوترين + القوة الخارجية .

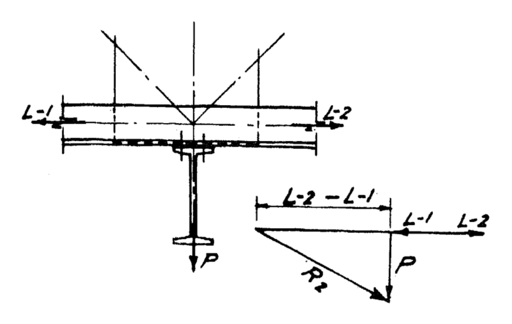
ب ـ محصلة القوتين (أو القوى) في أعضاء الجذع .

ويوضح شكل (٥ ـ ١٢) عقدة وتر علوي محملة .



شكل (٥ ـ ١٢) ـ عقدة وتر علوي محملة

كما قد يكون الوتر السفلي محملاً عند عقدة ـ عن طريق كمرة تحمل مرفاعاً وحيد القضيب مثلاً ـ حيث تربط الكمرة في الرجلين البارزتين للزاويتين (شكل ٥ ـ ١٣) وبذلك ينتقل الحمل منهما إلى الرجلين المربوطتين ومنهما إلى لوح التجميع . وعلى ذلك تحسب المسامير على محصلة القوتين في الوترين والقوة الخارجية .



شكل (٥ ـ ١٣) ـ عقدة وتر سفلي محملة

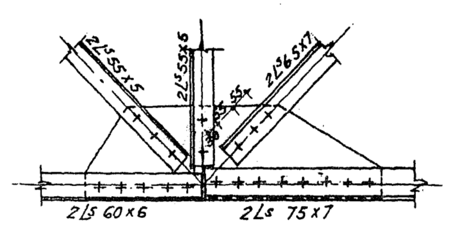
مثال (٥ ـ ١) ـ حساب أعضاء جمل ملتقية في وصلة سفلية وحساب المسامير اللازمة لربطها في لوح التجميع .

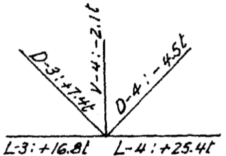
أولاً ـ مقطع الوتر غير مستمر *(Discontinuous chord)* ـ شكل (٥ ـ ١٤) :

البـراشيم : $Rivets\ d = 17\ mm$

لوح التجميع : $Gusset\ pl.\ t = 10\ mm$

مقاس أصغر زاوية لتناسب قطر البرشام : $L\ 55 \times 55 \times 5$





القوى فى الأعضاء

شكل (٥ ـ ١٤)

يبين الجدول التالي (٥ ـ ١) المقاطع المختارة للأعضاء والجهود الفعلية مقابل الجهود المسموح بها :

جدول ٥ ـ ١

ملاحظات	الجهد (Kg/cm²) المسموح به	الجهد (Kg/cm²) الفعلي	زاويتا المقطع	القوة (Kg)	العضو
الزيادة مسموح بها	1400	1425	60 × 60 × 6	+ 16 800	L-3
الزيادة مسموح بها	1400	1426	75 × 75 × 7	+ 25 400	L-4
أصغر مقاس للزاوية	1400	828	55 × 55× ×5	+ 7400	D-3
أصغر مقاس للزاوية	478	197	55 × 55 × 5	− 2100	V-4
	333	310	65 × 65 × 7	− 5400	D-4

وحساب عدد المسامير :

مقاومة المسمار :

القص المزدوج : $R_{d.s.} = 2 \times \dfrac{\pi \times d^2}{4} \times 980 = 1539\, d^2\, Kg$

التحميل : $R_b = t \times d \times 1960 = 1960\ td\ Kg$

ويبين الجدول التالي (٥ ـ ٢) مقاومة المسمار للتحميل على أسماك مختلفة للوح التجميع :

جدول ٥ ـ ٢

مقارنة البراشيم

$R_b\,(Kg)$ - for t =			$R_{d.s.}\,(Kg)$	d mm
8 mm	10 mm	12 mm		
2200	2740	3290	3017	14
2670	3330	4000	4448	17
3140	3920	4700	6158	20

للمسمار قطر ١٧ ولوح التجميع سمك ١٠ مم :

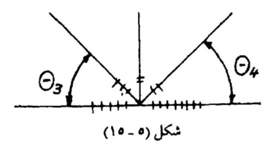
$$R_{least} = 3330\ Kg$$

يحسب عدد المسامير اللازمة لربط العضو في لوح التجميع ـ كما سبق بيانه ـ من واقع القوة الموجودة في العضو، لكنّ هناك رأياً آخر يقول إنه إذا كان المقطع المختار يتحمل أكثر من القوة الموجودة في العضو فإن الأفضل أن تصمم وصلته في لوح التجميع على أساس قدرة المقطع المختار ، وهذا هو المتبع في حساب وصلات أعضاء جمالونات الجسور . وتنص المواصفات المصرية على حساب الوصلة على أساس أكبر القيمتين : القوة القصوى الفعلية أو ٥٠ ٪ من المقدرة القصوى للمقطع المختار للعضو . وإذا تعرض العضو لقوة ترددية

وجب حساب وصلته على المجموع العددي للقوتين مختلفتي الاشارة أي جمعاً حسابياً :

القوة التصميمية $S_{Design} = S_{max} + S_{min}$

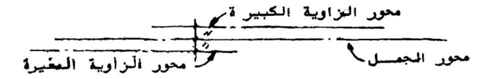
ويبين (شكل ٥ ـ ١٥) عدد المسامير اللازمة لوصل كل عضو ، محسوباً على أساس القوة الفعلية في العضو .



شكل (٥ ـ ١٥)

ولعمل لوح التجميع يُبدأ بالقطر *(D — 3)* الذي به العدد الأكبر من المسامير على أساس القيمة الدنيا لكل من المسافة الطرفية والخطوة ثم يجعل ضلعه العلوي موزياً للسفلي ثم يوضع المسماران في كل من القائم والقطر *(D—4)* بحيث تكون الخطوة ما تبقى بعد المسافتين الطرفيتين . ثم يكمل لوح التجميع كما في (شكل ٥ ـ ١٤) بحيث لا تزيد الخطوة على الحدود المنصوص عليها في المواصفات

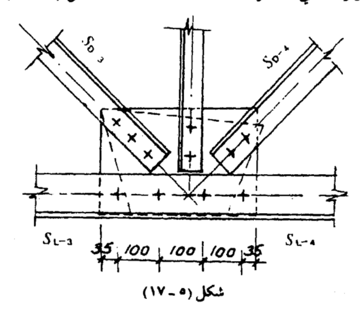
ملحوظة : عندما اختلف مقاسا عضوي الوتر لم يعد محوراهما على استقامة واحدة ، حيث يجب أن يكون السطح السفلي للزاويتين البارزتين مستقيماً . وفي هذه الحالة توضع الزاويتان بحيث ينصف محور الوتر السفلي للجمل المسافة بين محوري الزاويتين :



شكل (٥ ـ ١٦)

وعلى العموم فإنه لا يستحب أن تتغير مقاطع أعضاء الوتر لتجنب حدوث عزم حني عند العقدة . وقد أوردنا هذا المثال لايضاح الفرق بين أن يكون الوتر منفصلاً وأن يكون مستمراً . كما سنوضح المتاعب الأخرى الناجمة عن انفصال الوتر ، وكذلك وسيلة التخلص من تلك المتاعب .

ثانياً ـ الوتر السفلي مستمر *(Continuous chord)* ـ شكل (٥ ـ ١٧) :



شكل (٥ ـ ١٧)

عدد المسامير اللازمة لربط الوتر في لوح التجميع :

$$R_1 = S_{L-4} - S_{L-3}$$

$$= 25400 - 16800 = 8600\ Kg$$

$$R_2 = S_{D-3} \cos \theta_3 + S_{D-4} \cos \theta_4$$

$$= 7400 \times 0.707 + 5400 \times 0.107 = \underline{9050}\ Kg$$ (حرجة)

ويكون عدد المسامير اللازمة لربط الوتر في لوح التجميع :

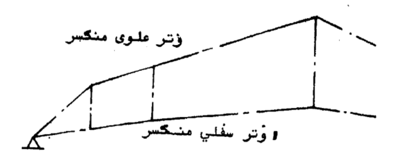
$$n = \frac{9050}{3330} = 3$$

إذا ربط الوتر السفلي بثلاثة مسامير كان شكل لوح التجميع بحسب الخطوط المنقطة شكل ٥ ـ ١٧ ولكن هذا الشكل يتسبب في إهدار مادة الألواح بالإضافة إلى ضعف مقطع لوح التجميع . ويمكن التخلص من هذا باستخدام الشكل المستطيل الذي يعطي مساحة أكبر للمقطع الحرج عند القطر (D-3) كما سيأتي الكلام عنه فيما بعد .

متى يكون الوتر منفصلاً :

الحالات الآتية يلزم فيها أن يفصل الوتر السفلي أو العلوي :

١ ـ عند انكسار الوتر :



شكل (٥ ـ ١٨)

٢ ـ إذا تغير المقطع ـ وقد أوضحنا أنه لا يستحب ذلك إذا كان الوتر مستقيماً . ولكن يكون ممكناً إذا انكسر الوتر .

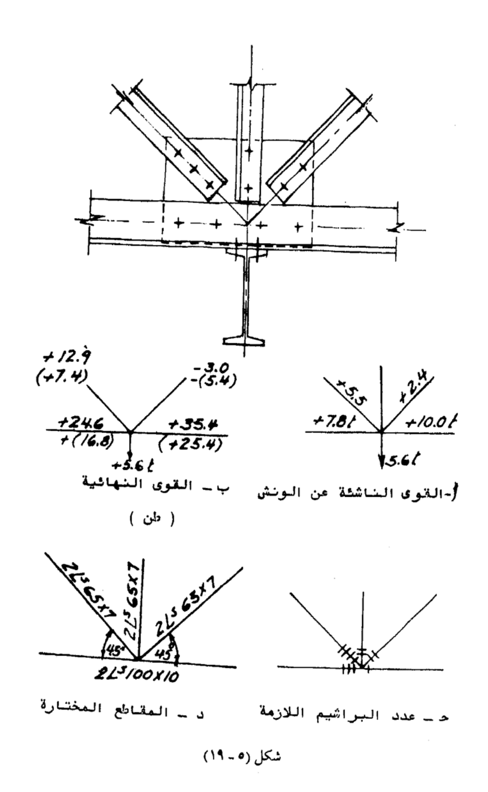
٣ ـ إذا زاد طول الوتر على الأطوال التي تنتج بها المقاطع . وتنتج الزوايا بأطوال ٦ ـ ٨ ـ ١٠ ـ ١٢ ـ متراً وأحياناً ١٤ متراً ويزداد الطول الذي تنتج به الزاوية كلما كبر مقطعها . وعلى العموم فإن الأطوال (بل المقاطع أيضاً) التي يمكن الحصول عليها في السوق هي الحكَم في ذلك .

٤ - إذا زاد طول الجمل وارتفاعه على المقاسات التي يمكن نقلها بالوسائل المتاحة . وقد زادت في السنين الأخيرة أطوال مقطورات سيارات النقل . ولكن زيادة طول الجمل تتبعها زيادة في ارتفاعه . وإذا كان الطول المنقول يحدده طول وسائل النقل ، فإن ارتفاع المنقول يحدده الخلوص المسموح به عند الجسور ولذلك فقد يكون لارتفاع الجمل تأثير على الطول الممكن نقله .

ثالثاً - المفصل المحمل (Loaded Joint) :

إذا كان لطبيعة سقف المنشأ أو ما قد يكون عليه من أحمال ما يستدعي استعمال كمرات أو مدادات في مستوى الوتر السفلي ، وكان ارتكاز هذه الكمرات على الرجلين البارزتين لزاويتي الوتر بحيث ينتقل حمل المدادة منهما إلى لوح التجميع ، سميت هذه العقدة بالمفصل المحمل . وكذلك لو علقت كمرة مرفاع من الرجلين البارزتين للوتر السفلي .

مثال (٥ - ٢) - لنأخذ المفصل السابق دراسته وقد علقت به كمرة ونش (Monorail) (شكل ٥ - ١٩) تنقل إلى الجمل حملاً قدره ٥,٦ طن . وتزداد القوى في الأعضاء عند المفصل بالقيم الموضحة بالشكل (أ) . وتصبح القوى النهائية كالموضحة بالشكل (ب) . وبسبب ازدياد القوة في الوتر سنضطر إلى استعمال براشيم قطر ٢٠ مم .


+12.9
(+7.4)
-3.0
-(5.4)
+24.6
+(16.8)
+35.4
(+25.4)
+5.6 t
ب ـ القوى النهائية
(طن)
+5.5
+2.4
+7.8 t
+10.0 t
5.6 t
أ-القوى الناشئة عن الونش
2L^s 65X7
2L^s 65X7
2L^s 65X7
45°
45°
2L^s 100X10
د ـ المقاطع المختارة
حـ ـ عدد البراشيم اللازمة

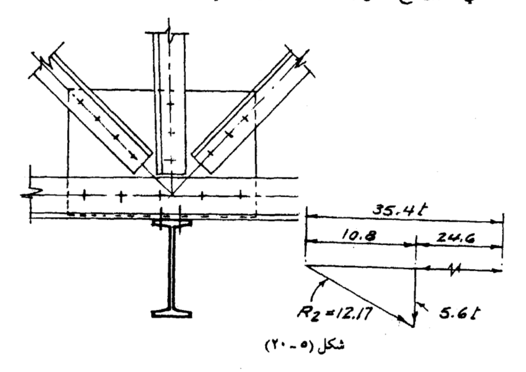
شكل (٥ ـ ١٩)

وتحسب البراشيم على أكبر القوتين :

$$R_2 = 12.9 \times 0.707 + 3.0 \times 0.707 = 11.24\ t$$

$$R_1 = \sqrt{(35.4 - 24.6)^2 + (5.6)^2} = \underline{12.17t} \qquad \text{(حرجـــة)}$$

ويلاحظ عند حساب المقطع للوتر $(L - 4)$ أنه يوجد ثقب في كل من رجلي الزاويتين وأنه يجب خصم ما يفقد من مساحة الـزاوية بسبـب الثقـب الثاني . ويوضح شكل (٥ ـ ٢٠) الشكل النهائي للمفصل .



شكل (٥ ـ ٢٠)

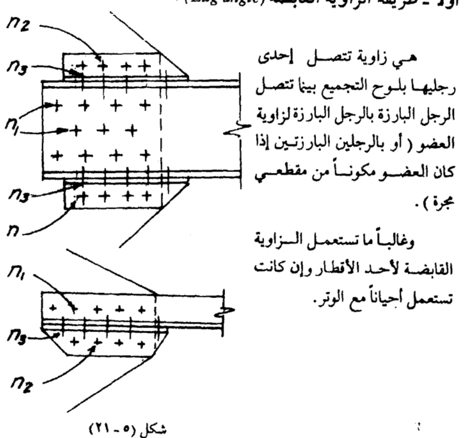
تقليل عدد المسامير في اتجاه خط القوة :

إذا كان الطول الكلي للجمل الذي درسنا مفصله آنفا يساوي ٢٥,٠٠ متراً فإنه يلزم فصل الجمل . فإذا فصل الوتر عند ذلك المفصل ، فإنه يلـزم لربط كل من عضوي الوتر في لوح التجميع عدد من البراشيم :

$$n = \frac{35\,400}{3\,920} = 9 \; rivets$$

ولما كان هذا العدد يزيد على ٦ فمن اللازم دراسة وسيلة تقليل عدد المسامير في اتجاه خط القوة . وهناك طريقتان لذلك نفصلهما فيما يلي :

أولا ـ طريقة الزاوية القابضة (*Lug angle*) :



هي زاوية تتصل إحدى رجليها بلوح التجميع بينما تتصل الرجل البارزة بالرجل البارزة لزاوية العضو (أو بالرجلين البارزتين إذا كان العضو مكوناً من مقطعي مجرة) .

وغالباً ما تستعمل الزاوية القابضة لأحد الأقطار وإن كانت تستعمل أحياناً مع الوتر.

شكل (٥ - ٢١)

اختيار الزاوية القابضة :

إشارة إلى شكل ٥ - ٢١ :

١ ـ إذا كان عدد المسامير اللازمة لنقل القوة في العضو إلى لوح التجميع = n

٢ ـ فالمسامير n_1 تنقل بعض القوة مباشرة من العضو إلى لوح التجميع .

٣ ـ باقي القوة ويلزمها عدد من المسامير = $n - n_1$ تنتقل من الرجل البارزة للعضو خلال المسامير n_3 إلى الرجل البارزة للزاوية القابضة ثم تنتقل من الرجل البارزة للزاوية القابضة إلى رجلها المربوطة ومنها إلى لوح التجميع خلال المسامير n_2 .

٤ ـ وعلى هذا فإن المسامير n_2 تنقل بعض القوة من العضو إلى لوح التجميع بطريق غير مباشر ، ولذلك تعتبر فاعليتها أقل من فاعلية مسامير النقل المباشر . وبناء على ذلك نرى زيادة العدد المطلوب بمقدار الثلث أي أن :

$$n_2 = 1.3\,(n - n_1)$$

٥ ـ لكي تعمل المسامير n_3 يجب أولاً أن تصل الجهود في المسامير n_1 إلى حد الخضوع ، كذلك لكي تعمل المسامير n_2 يجب أولا أن تصل الجهود في المسامير n_3 إلى حد الخضوع لذلك رؤي زيادة عدد المسامير n_3 عن عدد المسامير n_2 بمقدار ٢٥٪ .

$$n_3 = 1.25\, n_2$$

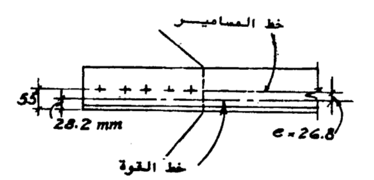
٦ ـ تجدر ملاحظة أن المسمار الأول في المجموعة n_3 قد وضع سابقاً المسامير n_1 حتى يمكن نقل جزء من القوة إلى الزاوية القابضة عن طريق الرجل البارزة لزاوية العضو .

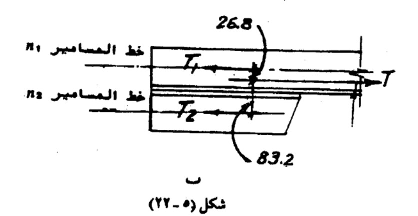
٧ ـ يفضل أن يكون مقاس الزاوية القابضة أو على الأقل مقاس رجلها البارزة مساوياً لمقاس الرجل البارزة للعضو حتى لا يحدث اضطراب في خطوط المسامير .

٨ ـ يلاحظ أن زاوية العضو أصبح بها مساران ، فإذا كان بالعضو قوة شد

وجب التحقق من أن الجهد على المقطع الصافي بعد خصم ما يفقد بسبب ثقبي المسامير لا يزيد على الجهد المسموح به .

٩ ـ والآن لندرس حالة الوصلة ، وهل تغير عزم الحني المؤثر عليها :





ب

شكل (٥ ـ ٢٢)

إشارة إلى شكل ٥ ـ ٢٢ ، نجد أن الوصلة العادية (أ) تتعرض لعزم حني يساوي القوة في بُعد خط المسامير عن خط القوة في العضو (e) .

أما في الوصلة المزودة بزاوية قابضة كما في (ب) فإن القوة تنتقل إلى صفين من المسامير ، وتوزع القوة بينهما بنسبة عكسية لبعدهما عن خط القوة . فإذا وزعت المسامير في كل صفّ لتقاوم القوة التي تؤثر عنده فإن الوصلة تتخلص من عزم الحني .

مثال (٥ ـ ٣) ـ ولنأخذ لذلك مثالاً عضواً مكوناً من زاويتين ١٠٠×١٠٠×١٠ (شكل ٥ ـ ٢٢ أ) .

$$A_{net} = 2\,(19.2 - 2 \times 2.0 \times 1.0) = 30.4\ cm^2$$

$Capacity = 30.4 \times 1400 \quad = 42{,}560\ Kg$ (مقدرة العضو)

باستعمال براشيم قطر $d = 20\ mm$ وألواح تجميع سمك $t = 12\ mm$

تكون مقاومة المسمار $R_{least} = R_b = 2.0 \times 1.2 \times 1960 = 4700\ Kg$

الحالة (أ) الوصلة العادية :

$$n = \frac{42550}{4\ 770} = 9$$

عزم الحني على الوصلة :

$$M = 42\ 560 \times 2.68 = 11400\ Kg\ cm$$

وسندرس فيما بعد تأثير هذا العزم على القوى المؤثرة على المسامير.

الحالة (ب) ـ الزاوية القابضة :

القوتان على خطى المسامير :

$$T_1 = \frac{42\ 560 \times 8.32}{11.0} = 32\ 190\ kg \qquad n_1 = 7$$

$$T_2 = \frac{42560 \times 2.68}{11.0} = 10370\ Kg \qquad n_2 = 3$$

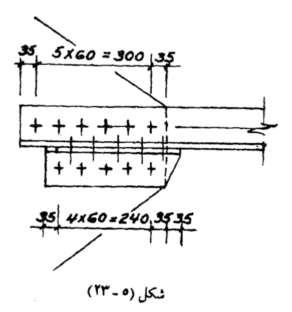
وعلى هذا يكون عدد المسامير في الوصلة الخالية من عزم الحني :

$n_1 = 7$

$n_2 = 1.3 \times 3 = 4$

$n_3 = 1.25 \times 4 = 5$

فإذا اعتبرنا أن العدد ٧ أكبر من المسموح به في خط واحد و جعلنا العدد ٦ ، فإن الوصلة تتعرض لعزم حني صغير ويكون عدد المسامير كالآتي (شكل ٥ - ٢٣) .



شكل (٥ - ٢٣)

العدد الكلي للمسامير :

$$n = 9$$
$$n_1 = \quad = 6$$
$$n_2 = 1.3\ (9 - 6) = 4$$
$$n_3 = 1.25 \times 4 = 5$$

ثانياً - طريقة لأم الأعضاء *(Splicing of members)* :

تقديم - إذا قَصُر طول مقطع عن الوفاء بالطول المطلوب للعضـو لزم وصله بقطعة لها المقطع نفسـه ، فهـذه عملية لأم . وتستلـزم عملية الـلأم عنصرين أو مبدأين :

أ ـ مادة اللأم. *(Splice material)* :

إذا قطع عضو أو عنصر من عضو لزم أن تنتقل القـوة التـي في الجـزء المقطوع من أحد جانبي القطع إلى جانبه الآخر عبر مادة لأم تضاف في مكان القطع تكون لها على الأقل مقـدرة الجـزء المقطـوع نفسـه . ولا يعنـي هذا بالضرورة أن تكون مقاسات مقطع اللأمة هي مقاسات الجزء المقطوع .

وشروط تساوي مقدرتي اللأمة والجزء المقطوع هي الآتية :

١ ـ إذا كان العضو معرضاً لقوة محورية وجب أن تكون مساحة اللأمة المضافة مساوية لمساحة المقطع المقطوع .

أ ـ في حالة عضو الشد :

مساحة اللأمة الصافية = المساحة الصافية للمقطع المقطوع .

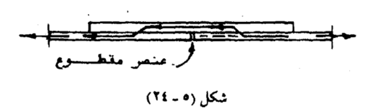
ب ـ في حالة عضو الضغط

مساحة اللأمة الكلية = المساحة الكلية للمقطع المقطوع .

٢ ـ إذا كان العضو معرضاً لعزم حني حيث أهم خصـائص المقطـع هو عزم العطالة وجب ـ بالإضافة الى تساوي المساحتين أن يكون :

عزم عطالة اللأمة = عزم عطالة المقطع المقطوع .

ب ـ وسيلة نقل القوة. *(Transmission of force)* :



شكل (٥ ـ ٢٤)

تنتقل القوة من أحد جانبي العنصر المقطوع عبـر اللأمـة إلى الجانـب الآخر. ووسيلـة نقـل القـوة إمـا أن تكون اللحـام وإمـا أن تكون المسامـير

(البراشيم أو البراغي) ولما كنا قد قررنا أن تكون مقدرة اللأمة مساوية لمقدرة الجزء المقطوع وجب أن تكون مقدرة وسيلة نقل القوة معادلة لمقدرة الجزء المقطوع كما يجب أن تكون اللأمة متماثلة بالنسبة لموقع القطع؛ لاحتواء كل جانب على وسيلة نقل القوة نفسها، ويكون:

١ ـ عدد المسامير (أو أطوال اللحام)

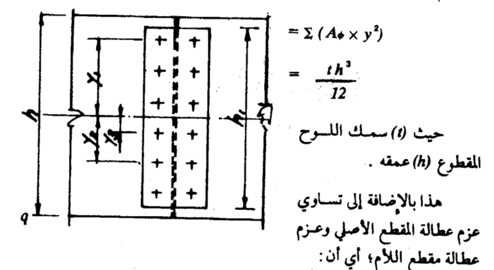
$$= \frac{\text{مقدرة الجزء المقطوع (أو مقدرة اللأمة) أيهما أكبر}}{\text{مقاومة المسمار الصغرى}}$$

أي: $n = \dfrac{A.f_p}{R_{least}}$

٢ ـ عزم عطالة المسامير في كل من جانبي اللأمة:

$= \Sigma (A_\phi \times y^2)$

$= \dfrac{t h^3}{12}$



حيث (t) سمك اللوح المقطوع (h) عمقه.

هذا بالإضافة إلى تساوي عزم عطالة المقطع الأصلي وعزم عطالة مقطع اللأم؛ أي أن:

شكل (٥ ـ ٢٥)

$$\frac{t.h^3}{12} = \frac{t_1 . h^3_1}{12}$$

حيث t_1 و h_1 هي سمك لوح (أو لوحي) اللأم وعمقهما

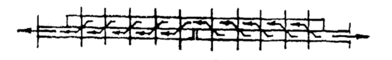
واللأمات نوعان:

١ ـ لأمة مفردة القص *(Single-shear splice)* :

حيث تضاف مادة اللأم على وجه واحد من المادة المقطوعة وتكون مقاومة المسمار في مقطع واحد منه ، أي مقاومة في قص مفرد(شكل ٥ـ ٢٦أ)

٢ ـ لأمة مزدوجة القص *(Double-shear splice)* :

حيث تضاف مادة اللأم على كل من وجهي المادة المقطوعة وتكون مقاومة المسمار في مقطعين منه ، أي مقاومة في قص مزدوج (شكل ٥ ـ ٢٦ ب) .



أ ـ قص مفرد

ب ـ قص مزدوج

شكل (٥ ـ ٢٦)

مثال (٥ ـ ٤) ـ المطلوب تصميم لأمة لعضو شد مقطعه مستطيل مقاسه ٢٠٠ × ١٢ باستعمال مسامير قطر ١٧ مم .

يتقبل هذا العضو ثلاثة مسامير في مسافة ٢٠سم (شكل ٥ ـ ٢٧) .

مقاومة المسمار قطر ١٧مم : $R_{ss} = 2224\ Kg$ قص مفرد

$R_b = 4000\ Kg \quad (t = 12)$

$R_{ds} = 4448\ Kg$ قص مزدوج

مقدرة اللوح *(Capacity of plate)* :

$$ق = (20.0 - 3 \times 1.7) \times 1.2 \times 1400$$

$$= 25\,032\ Kg$$

أ ـ وصلة قص مفرد (شكل أ):

مقاس لوح اللأم 200×12

مقاومة المسمار $= 2224\ Kg\ (R_{s.s})$ R_{least}

عدد المسامير $n_1 = \frac{25\ 032}{2\ 224} = 12$

أ ـ قص مفرد

ب ـ قص مزدوج

شكل (٥ ـ ٢٧) لأمة عضو محوري التحميل

ب ـ وصلة قص مزدوج (شكل ب):

مقاس كل من لوحي اللأم 200×6

مقاومة المسمار $R_{least} = 4000\ Kg\ (R_b)$

عدد المسامير $n_2 = \frac{25\ 032}{4.000} = 7$ (تؤخذ 8)

مثال (٥ ـ ٥) ـ المطلوب تصميم لأمة لعضو الشد في المثال السابق (ب) ، إذا كان عرض لوح اللأم ١٣٠ مم .

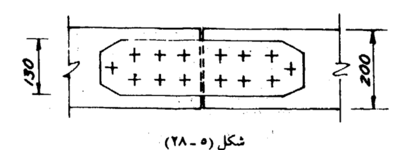
أ ـ مقاس كل من لوحي اللأم:

المساحة الصافية للعضو المقطوع = المساحة الصافية لمادة اللأم

$$A_{net}\,of\,splice\,material = A_{net}\,of\,cut\,member$$

$$2\,(13.0 - 2 \times 1.7) \times t' = (20.0 - 2 \times 1.7) \times 1.2$$

$$t' = 11\ mm.$$



شكل (٥ ـ ٢٨)

∴ مقاس اللوح: 130×11

(مساحة مادة اللأم =٢٨,٦سم٢،مساحة المقطع الأصلي٢٠,٠ ٢٤ سم٢)

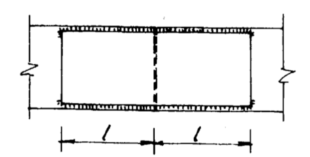
عرض لوح اللأم لا يتسع إلا لمسمارين:

ب ـ عدد المسامير: $n_2 = \frac{25\ 032}{4000} = 7$

مثال (٥ ـ ٦) ـ المطلوب لأم عضو شد مقطعه مستطيل مقاسه ٢٠٠ ×١٢ باستعمال اللحام .

يلزم أن يكون عرض لوح اللأم أقل من عرض العضو ليتسع لشريط اللحام . ولنقل إنه ينقص ١٠مم من كل جانب.

المساحة المستعملة هنا هي المساحة الكلية :



شكل (٥ ـ ٢٩)

مقاس لوحي اللأم (شكل ٥ ـ ٢٩) :

$$20.0 \times 1.2 = 2\,(18.0 \times t')$$

$$t' = 7\ mm$$

القوة التي يتحملها العضو

$$S = 20.0 \times 1.2 \times 1400$$

$$= 33\,600\ Kg$$

إذا استعملنا لحاما مقاسه

$$s = 6\ mm$$

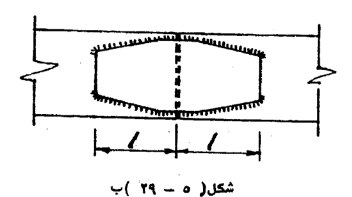
مقدرة اللحام (٤ شرائط في كل جانب من القطع) :

$$4 \times l \times s \times 0.4 f_{pt} = S$$

$$4 \times l \times 0.6 \times 0.4 \times 1400 = 33\,600$$

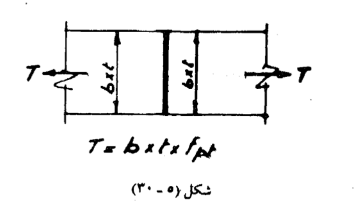
$$l = 25.0\ cm$$

والآن: تنتقل القوة من العضو خلال شرائط اللحام من أول الوصلة حتى تصل أقصاها عند مكان القطع أي أن القوة في لوحي اللأم لا تحتاج لكامل المقطع في كل طولها ، بل يكفي أن تبدأ من الصفر، ولذلك يُشطف لوحا اللأم كما في شكل (٥ ـ ٢٩ ب) . ولا يقصد بهذا التوفير في المادة ولكن من وجهة توزيع الجهود في المقاطع يستحسن أن يكون التغير في مقطع اللأمة تدريجياً وليس فجائياً حتى لا يحدث تركيز في الجهود .



شكل(٥ ـ ٢٩)ب

ب ـ اللحام التقابلي (لحام النهايات) :

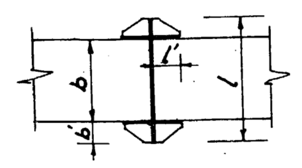


شكل (٥ ـ ٣٠)

يكون مقطع هذا النوع من اللحام مساوياً لمقطع العضو المقطوع ، ولكن المشكلة في أن هذا النوع من اللحام لا يتحمل في الشد سوى ٧٠٪ من جهد الشد في المعدن الأصلي وبذلك تنقص مقدرة العضو إلى ٧٠٪ من قدرته حيث أن قدرة أي عضو هي قدرة أضعف مقطع فيه .

ولمعالجة هذا الضعف نتبع إحدى طريقتين :

وصلة أ ـ إضافة جناحين :



شكل (٥ـ ٣١أ)

طول اللحام المطلوب عمودياً على اتجاه القوة :

$$b \times t \times f_{pt} = l \times t \times 0.7 f_{pt}$$

$$l = 1.5\, b$$

ويلحم كل جناح بأحد جانبي اللوح ، وحيث أن هذا اللحام في اتجاه القوة فهو يعمل في مقاومة القص . ولما كان القص المسموح به في اللحام التقابلي هو $0.55 f_{pt}$ فيكون الطول المطلوب للحام الجناح :

$$b' = \frac{l-b}{2} \times \frac{0.7 f_{pt}}{0.55 f_{pt}}$$

$$= 1.27 \left(\frac{l-b}{2}\right)$$

مثال (٥ ـ ٧) ـ في المثال (٥ ـ ٦) :

طول اللحام المطلوب عموديا على اتجاه القوة :

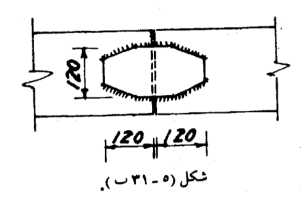
$$l = \frac{20.0}{0.7} = 28.6\ cm$$

taken 30.0 cm

فيكون عرض الجناح $b' = \frac{30.0 - 20.0}{2} = 5.0\ cm$

ويكون طول الجناح $l' = \frac{5.0 \times 0.7}{0.55} = 6.5\ cm$

وصلة ب ـ إضافة لوحي لأم:



شكل (٥ ـ ٣١ ب).

ويلحم اللوحان لحاماً زاوياً ، وبذلك يجتمع في وصلة واحدة لحامان فتصبح الجهود المسموح بها هي تلك المسموح بها في اللحام الزاوي أي $0.4f_{b1}$

مثال (٥ ـ ٨) ـ في المثال (٥ ـ ٦) :

مقــدرة العضــو: $S = 20.0 \times 1.2 \times 1400 = 33\,600\ Kg$

مقدرة اللحام التقابلي: $S_1 = 20.0 \times 1.2 \times 0.4 \times 1400 = 13\,440\ Kg$

القوة في لوحي اللأم: $S_2 = 33\,600 - 13\,440 = 20\,160\ Kg$

المساحة المطلوبة للّوح: $A = \frac{20\,160}{2 \times 1400} = 7.2\ cm^2$

يستعمل لوحان : 120×6

طول اللحام (مقاس ٤مم وهو أدنى مقاس مسموح به في اللحام الزاوي) :

$$4 \times l \times 0.4 \times 0.4 \times 1400 = 10\,080$$
$$l = 12.0\ cm$$

فيكون مقاس كل من لوحي اللأم: $120 \times 6 \times 260$

مثال (٥ ـ ٩) ـ المطلوب تصميم لأمة لعضو شد مقطعه زاوية ٨٠ × ٨٠ ×٨ (قطر المسمار ١٧ مم) .

يمكن عمل هذه اللأمة بثلاث طرق :

أ ـ لوحا لأم من الخارج :

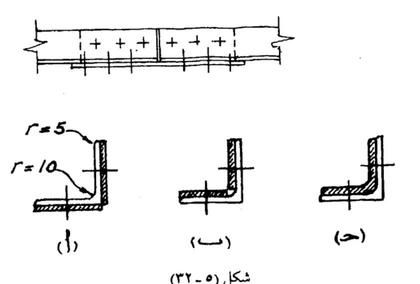
وفي هذه الحالة يكون مقاس كل لوح (دون حاجة إلى حساب) 8×80 وفيهما زيادة طفيفة في المساحة . فإذا كانت هناك خشية أن يبرز أحد اللوحين أو كلاهما عند ركن الزاوية فيمكن عمل مقاس اللوح 8×78 مثلا . ولحساب عدد المسامير تحسب مقدرة الزاوية ، على اعتبار أن بالمقطع ثقبين لمسمارين . ولو أن المسامير تكون مترنحة ، إلا أنه بسبب قرب المسامير يكون المقطع الحرج هو المقطع المخصوم منه ثقباً مسمارين .

مقدرة الزاوية : $S = (12.3 - 2 \times 1.7 \times 0.8) \times 1400$
$= 13\,412\ Kg$

عدد المسامير ذات القص المفرد اللازمة للأم الزاوية :

$$n = \frac{13412}{2224} = 6$$

في كل رجل ثلاثة مسامير على كل من جانبي القطع . شكل(٥ـ ٣٢ أ)



شكل (٥ ـ ٣٢)

ب ـ لوحا لأم من الداخل :

يبدأ قياس عرض اللوح بعد استدارة ركن الزاوية ، ويفضل أن ينتهي عند نهاية استدارة طرف الرجل وبذلك يكون عرض اللوح :

$$b' = a - (t + r_1 + r_2)$$

$$= 8.0 - (0.8 + 1.0 + 0.5)$$

$$= 5.7\ cm$$

وهذه يلزم زيادتها إلى $6.0\ cm$، ضعف المساحة الطرفية الدنيا :

$$2 \times 1.75\ d = 5.95\ cm$$

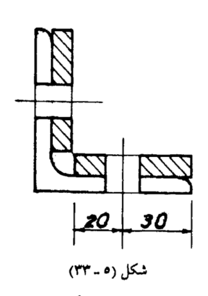
بمساواة المساحة الصافية لكل من الرجل ولوح اللأم :

$$\frac{12.3 - 2 \times 1.7 \times 0.8}{2} = (6 - 1.7) \times t'$$

$$\therefore t = 1.1\ cm$$

وبذلك يكون مقاس كل من لوحي اللأم 11×60 وهنا سيكون خط المسامير في الزاوية في غير موقعه المعتاد .

أما عدد المسامير فهو مساوٍ للحالة الأولى أي ثلاثة مسامير في كل رجل على كل من جانبي القطع .



شكل (٥ - ٣٣)

جـ - زاوية لأم داخلية :

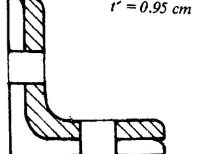
تختار لذلك زاوية أكبر مقاساً لتكون أسمك حيث يفضل ألا تبرز زاوية اللأم عن الزاوية الأصلية .

بمساواة المساحة الصافية لكل من الزاويتين :

$$(12.3 - 2 \times 1.7 \times 0.8) = (7.2 - 1.7)\, t' + (7.2 - t' - 1.7)\, t' - 9.58$$

$$= (t')^2 - 11.0\, t'$$

$$t' = 0.95 \ cm$$



شكل (٥ - ٣٤)

ولتعويض الفاقد من الزاوية بسبب برد ركنها نأخذ $t' = 10$

وعلى هذا تستعمل زاوية 100×10 بعد قص رجليها ليصبح عرض كل منهما ٧٢ مم . أما عدد المسامير فهو أيضاً مساوٍ للحالة الأولى ، أي ست مسامير في كل زاوية لأم على كلٍّ من جانبي القطع .

مثال (٥ ـ ١٠) ـ لأم زاويتين متظاهرتين :

المطلوب تصميم لأمة لعضو شد مكون من زاويتين متظاهرتين $8 \times 80 \times 80$ (قطر المسمار ١٧مم وسمك لوح التجميع ١٠مم).

أولاً ـ القطع عند لوح التجميع :

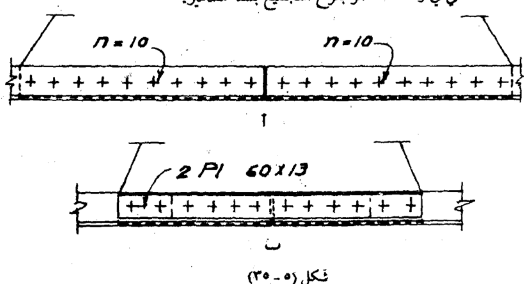
في هذه الحالة يعمل لوح التجميع بصفة لوح لأم ، بل أن المعتاد هو نقل كل القوة التي بالعضو إلى لوح التجميع . إلا أنه إذا زاد عدد المسامير في اتجاه خط القوة على سبعة ، وجب نقل بعض القوة من أحد جانبي القطع إلى الجانب الآخر بوساطة لوح لأم وفي هذه الحالة لا يمر ذلك البعض من القوة بلوح التجميع .

مقدرة العضو $S = 2\,(12.3 - 1.7 \times 0.8) \times 1400 = 30\,600\ Kg$

عدد المسامير اللازمة لنقل القوة إلى لوح التجميع :

$$n = \frac{30\,600}{3\,330} = 10 > 7$$

وعلى هذا يجب عمل لأمة للعضو عند لوح التجميع . فإذا رأينا أن نكتفي في وصلة العضو بلوح التجميع بستة مسامير:



شكل (٥ ـ ٣٥)

الحالة الأولى :

إذا استعملنا لوحي لأم على الرجلين المربوطتين :

مقاومة ٦ مسامير قص مزدوج $S_1 = 6 \times 3330 = 20{,}000\ Kg$

القوة المطلوب نقلها خلال اللوحين $S_2 = 30{,}600 - 20{,}000 = 10{,}600\ Kg$

المساحة الصافية للوحي اللأم $Req.\ A_{net} = \frac{10\ 600}{1400} = 7.57\ cm^2$

إذا كان عرض اللوح ٦ سم يكون سمكه :

$$\frac{7.57}{2} = (6.0 - 1.7) \times t$$

$$t = 9\ mm$$

ويشغل لوح اللأم ٤ مسامير في كل من جانبي القطع وبذلك يوجد في الوصلة ٤ مسامير تعمل في ٤ مستويات قص ومسماران يعملان في قص مزدوج (شكل ٥ ـ ٣٥ ب) .

التدقيــق :

مقاومة المسمار العامل في ٤ مستويات قص :

$$R_{4s} = 4 \times \frac{\pi \times 1.7^2}{4} \times 980 = 8898\ Kg$$

$$R_b = 1.7 \times 1.6 \times 1960 = \underline{5340}\ Kg$$

ملحوظة: التحميل إما على سمكي رجلي الزاويتين أي ١٦مم

أو على مجموع أسماك لوح التجميع ولوحي اللأم أي ٢٨ مم .

مقاومة المسامير في ٤ مستويات: $S_1 = 4 \times 5340 = 21{,}360\ Kg$

مقاومة مسمارين في قص مزدوج : $S_2 = 2 \times 3330 = 6{,}660\ Kg$

وتكون مقاومة الوصلة :

$S = S_1 + S_2 = 28{,}020\ Kg < 30{,}600\ Kg$ N.G.

وعلى ذلك يمتد لوح اللأم ليشغل المسامير الستة في كل من جانبي القطع ، وبالتالي تكون مقاومة الوصلة :

مقاومة ٦ مسامير في ٤ مستويات :

$S = 6 \times 5340 = 32{,}040\ Kg > 30{,}600\ Kg$ O.K.

في هذه الحالة يجب نقل نصف القوة خلال لوحي اللأم :

$$Req.\ A_{net} = \frac{15.300}{1400} = 10.93\ cm^2$$

$$\frac{10.93}{2} = (6.0 - 1.7)\ t$$

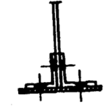
$$t = 13\ mm$$

ويكون مقاس كل من لوحي اللأم 60×13

الحالة الثانيـــة :

إذا استعملنا لوح لأم على الرجلين البارزتين (شكل ٥ ـ ٣٦) .

في هذه الحالة سوف تحتوي كل رجل على مسمارين في المقطع وبذلك تنقص مقدرة العضو فتصبح :



شكل (٥ ـ ٣٦)

$S = 2\,(12.3 - 2 \times 1.7 \times 0.8) \times 1400 = 26\,800\ Kg$

أي تنقص $\Delta S = 30.600 - 26\,800 = 3800\ Kg$.

إذا اكتفينا بخمسة مسامير في وصلة العضو بلوح التجميع تكون :

مقدرة ٥ مسامير (قص مزدوج) $S_1 = 5 \times 3330 = 16\,650\ Kg$

القوة المطلوب نقلها خلال لوح اللأم :

$$S_2 = 26\,800 - 16\,650 = 10\,150\ Kg$$

$$Req.\ A_{net} = \frac{10\,150}{1400} = 7.25\ cm^2$$

عرض لوح اللأم = عرض العضو + نحو ١٠مم

= عرض رجلي زاويتين + سمك لوح التجميع + ١٠مم

$$b' = 2 \times 8.0 + 1.0 + 1.0 = 18.0\ cm$$

سمك لوح اللأم

$$t' = \frac{7.25}{18.0 - 2 \times 1.7} = 0.5\ cm$$

عدد مسامير القص المفرد اللازمة لنقل القوة إلى لوح اللأم ثم منه :

$$n = \frac{10\,150}{1666} = 6 \qquad (R_b < R_{ss})$$

(يجب أن يكون العدد زوجياً) .

تعقيب :

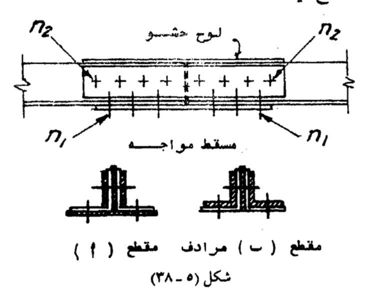
إذا زيد عدد المسامير في وصلة العضو بلوح التجميع إلى ستة كما في شكل(٥-٣٧)، فإن مسمارين من المسامير بين العضو ولوح التجميع تسبق المسامير



شكل (٥ - ٣٧)

بين العضو ولوح اللام ، بمعنى أن جزءاً من القوة يساوي مقدرة مسمارين ينتقل إلى لوح التجميع قبل المقطع الحرج ، وبذلك تكون القوة عند المقطع الحرج أقل من القوة في العضو . أي أن مقدرة العضو لا تنقص بوجود ثقوب في كلا الرجلين .

ثانياً ـ القطع فيما بين عقدتين :



شكل (٥ ـ ٣٨)

يجب أن تُلأَم كل من رجلي الزاوية فإذا استعمل لذلك لوح لأم كما في المقطع (أ) أو زاوية لأم كما في المقطع (ب) لزم شغل المسافة بين الزاويتين بلوح حشو . ويستفاد من هذا اللوح ضمن المادة اللازمة لعمل اللأمة :

أ ـ باستعمال لوح لأم يمكن الاستغناء عن اللوحين على الرجلين المربوطتين ويستبدل بهما لوح الحشو ، مع زيادة عرضه لاستكمال المساحة المطلوبة . وتُلأَم الرجلان البارزتان بلوح واحد .

ب ـ باستعمال زاويتي لأم ، يمكن تقليل مساحتهما حيث يعمل معهما لوح الحشو ، لكن تجدر الإشارة إلى أن الاستفادة من لوح الحشو لن تكون كاملة إذ ينتقل جزء من القوة من الرجلين البارزتين إلى لوح الحشو بطريقة غير مباشرة .

أما مسامير الوصلة فهي تعمل بطريقتين :

ـ المسامير في الرجلين المربوطتين ، وتعمل في قص مزدوج في حالة استعمال لوح الحشو فقط وتعمل في ٤ مستويات قص في حالة استعمال زاويتي لأم .

ـ المسامير في الرجلين البارزتين ، وهي تعمل في قص مفرد .

ولا مفر في هذه الحالة من خصم الثقوب الناشئة عن المسامير من كلٍّ من رجلي الزاويتين ، ولذلك يجب التأكد من أن الجهد في المقطع لن يزيد على الجهد المسموح به .

مثال (٥ ـ ١١) ـ المطلوب لأم الزاويتين المتظاهرتين $80 \times 80 \times 8$ من المثال السابق ، بعيداً عن العقدة ؛ أولاً بألواح لأم وثانياً بزاويتي لأم .

الحالة الأولى ـ باستعمال ألواح اللأم :

أ ـ لوح اللأم على الرجلين البارزتين :

مساحة الرجلين الصافية = مساحة لوح اللأم الصافية

$$2\,(8.0 - 1.7) \times 0.8 = (18.0 - 2 \times 1.7) \times t'$$

$$t' = \frac{10.08}{14.6} = 0.7 \text{ cm}$$

القوة اللازم نقلها : $S_1 = 10.08 \times 1400 = 14\,110 \text{ Kg}$

عدد المسامير ذات القص المفرد :

$$n_1 = \frac{14.110}{2224} = 7 \qquad (\text{taken } 8)$$

ب ـ لوح الحشو الذي يُستخدم لوحَ لأم للرجلين المربوطتين :

مساحة الرجلين المربوطتين الصافية = مساحة لوح اللأم الصافية :

$$2\,(8.0 - 0.8 - 1.7) \times 0.8 = 8.8 \text{ cm}^2$$

سمك لوح التجميع $= (b' - 2 \times 1.7) \times 1.0$

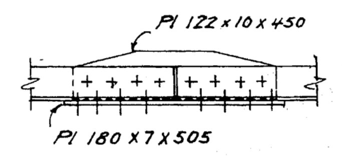
∴ عرض لوح الحشو $b' = 12.2 \text{ cm}$

عدد المسامير ذات القص المزدوج :

$$n_2 = \frac{8.8 \times 1400}{3330} = 4$$

وهنا نشير إلى نقطتين :

أ - يبرز لوح الحشو نحو ٤,٧ مم عن أعلا الزاويتين . ولما كانت القوة تنتقل إلى اللوح بالتدريج فإن المقطع الكامل للّوح لا يُطلب إلاّ عند آخر مسمار أي عند مكان القطع حيث تكون القوة بأكملها قد انتقلت إلى اللوح . وربما كان الأفضل من جهة المنظر أن يشطف اللـوح قرب طرفيه كما في شكل (٥ - ٣٩) .



شكل (٥ - ٣٩)

أأ - يكون منظر الزاويتين ، وقد ظهر فيهما القطع ، غير مرغوب فيه ، لذلك يُفضّل تغطية القطع . ويستتبع هذا تعديلاً في اللاّمة :

مقاس لوح التغطية : $b = 6.0\ cm$

$t = 5\ mm\ (min)$

مقاس لوح الحشو : 75×10

المساحة الصافية لألواح اللأم :

$$A_{net} = 2\,(6.0 - 1.7) \times 0.5 + (7.5 - 1.7) \times 1.0$$

$$= 10.1\ cm^2 > 8.8\ cm^2 \qquad O.K.$$

المسامير هنا تعمل في ٤ مستويات قص (المقاومة للتحميل على سمكيْ لزاويتين تساوي 5340 kg)

$$n_2 = \frac{8.8 \times 1400}{5340} = 3$$

الحالة الثانية ـ اللأم بزاويتين (مع وجود حشو) :

تنتقل القوة من رجلي زاويتي العضو المربوطتين خلال رجلي زاويتي اللأم الملاصقتين وخلال لوح الحشو بينهما . وتنتقل القوة من رجلي زاويتي العضو البارزتين خلال رجلي زاويتي اللأم الملاصقتين . وتطبيقاً لمبدأ مساواة مساحة مادة اللأم بمساحة مقطع العضو تكون مساحة زاويتي اللأم مساوية للفرق بين مساحة مقطع العضو ومساحة الحشو وعلى ذلك فلا تنتقل كل القوة في رجلي زاويتي العضو البارزتين خلال رجلي زاويتي اللأم البارزتين بل تنتقل مقدرة هاتين



شكل (٥ ـ ٤٠)

الرجلين فقط ، وما تبقى ينتقل إلى رجلي زاويتي اللأم المربوطتين . ولما كانت هاتان الرجلان مشغولتين بالقوة المنقولة إليهما من رجلي زاويتي العضو المربوطتين فلا بدّ من انتقال تلك القوة المتبقية ، بالإضافة إلى ما لا تنقله رجلا زاويتي اللأم المربوطتين من رجلي زاويتي العضو المربوطتين ، لا بدّ من انتقال هاتين القوتين إلى لوح الحشو . وهذا الانتقال إنما هو انتقال غير مباشر ، ولا يكون للمسامير مقدرتها نفسها على النقل المباشر ، وبذلك يزداد عددها ٢٠٪ لانتقال القوة إلى لوح اللأم خلال سمك آخر (كنص المواصفات) . ولايضاح ذلك نحل المثال السابق :

مثال (٥ ـ ١٢) ـ في المثال (٥ ـ ١١) :

المساحة الصافية لزاويتي اللأم = المساحة الصافية لزاويتي المقطع ـ المساحة الصافية للوح الحشو .

المساحة الصافية لزاوية اللأم :

$$Req\ A_{net} = 2\,(12.3 - 2 \times 1.7 \times 0.8) - (7.5 - 1.7) \times 1.0$$

$$= 19.16 - 5.8$$

$$= 13.36\ cm^2$$

$$A_g \simeq \frac{13.36}{0.70} = 19.1\ cm^2$$

Try $2L^s\ 70 \times 70 \times 7$, $A_g = 2 \times 9.4\ cm^2$

$$A_{net} = 2\,(9.4 - 2 \times 1.7 \times 0.7) = 14.04\ cm^2 \qquad O.K.$$

أ ـ لأم الرجلين البارزتين :

القوة التي يمكن أن تنقلها رجلا زاويتي اللأم البارزتان :

$$S'_1 = 2\,(7.0 - 1.7) \times 0.7 \times 1400$$

$$= 7.42 \times 1400 \qquad = 10\,390\ Kg$$

عدد مسامير القص المفرد اللازمة لنقلها :

$$n_1 = \frac{10390}{2224} = 5 \qquad (\text{taken } 7)$$

شكل (٥ - ٤١) ـ لأمة بزاويتين

القوة في رجلي زاويتي العضو البارزتين :

$$S_1 = 2\,(8.0 - 0.8 - 1.7) \times 0.8 \times 1400$$

$$= 8.8 \times 1400 = 12\,320\ Kg$$

القوة المطلوب نقلها إلى رجلي زاويتي اللأم المربوطتين ثم إلى لوح الحشو :

$$S_3 = 12\,320 - 10.390 = 1930\ Kg$$

القوة في رجلي زاويتي العضو المربوطتين :

$$S_2 = 2\,(8.0 - 1.7) \times 0.8 \times 1400$$

$$= 10.08 \times 1400 = 14\,110\ Kg$$

القوة التي يمكن أن تنقلها رجلا زاويتي اللأم المربوطتان :

$$S_2' = 2\,(7.0 - 0.7 - 1.7) \times 0.7 \times 1400$$

$$= 6.44 \times 1400 = 9010\ Kg$$

القوة المطلوب نقلها إلى لوح الحشو :

$$S_4 = 14.110 - 9010 = 5100\ Kg$$

مجموع القوى المطلوب نقلها إلى لوح الحشو :

$$S_3 = 1.2\,(1930 + 5100) = 7240\ Kg$$

(1.2 لأجل تعويض النقص في مقدرة المسامير على النقل غير المباشر)

مجموع القوى المطلوب نقلها خلال الحشو ورجلي زاويتي اللأم المربوطتين :

$$S_5 = 14\,110 + 7240 = 21\,350\ Kg$$

المسامير اللازمة لنقل هذه القوة تعمل في ٤ مستويات قص :

$$n_2 = \frac{21350}{5340} = 4$$

لأم الأعضاء الأخرى :

أولاً ـ الأعضاء المحملة محورياً :

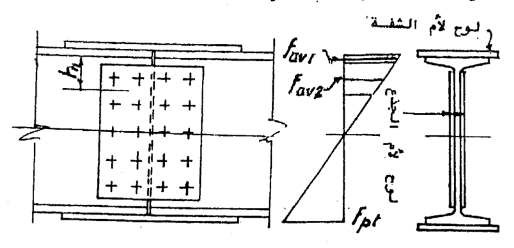
يلأم عضو مقطوع مكوّن من أي مقطع بتقسيم المقطع إلى أجزاء مستطيلة ولأم كل منهما بمقطع مستطيل مناسب كما في شكل (٥ ـ ٤٢) .

ويترك للمصمم تحديد عرض الجزء المشترك بين جذع المقطع وشفته وهل يعتبر ضمن الجذع كما في الشكل (أ) أو ضمن الشفة كما في الشكل (ب) . وإذا لم توجد بيانات فإن ارتفاع جذع مقطع المجرة وكذلك الكمرة I من الداخل فيما بين الاستدارتين يمكن اعتباره ٨٠٪ من عمق المقطع .

ويلاحظ استعمال الوصلة ذات القص المزدوج طالما كان ذلك ممكناً ، وذلك لتقليل طول الوصلة .

شكل (٥ ـ ٤٢)

ثانياً ـ الأعضاء المعرضة لعزم حني :



شكل (٥ ـ ٤٣)

أ ـ مادة اللأم :

من أجل لأم الشفتين يستعمل لوح على كل شفة مساحته الصافية تساوي مساحة الشفة الصافية . وفي هذه الحالة تعمل المسامير في قص مفرد . ويمكن استعمال لوح خارجي ولوحان من الداخل على كل شفة وحينئذٍ تعمل المسامير في قص مزدوج شكل (٥ ـ ٤٢ حـ) . ومن أجل لأم الجذع يستعمل لوحان مجموع مساحتيهما الصافية تساوي مساحة الجذع الصافية ، مع مراعاة الحد الأدنى لسمك اللوح وهو ٥ مم وأن ارتفاع اللوح يساوي نحو ٠,٨ عمق المقطع .

هذا ويجب التحقق من أن عزم عطالة مادة اللأم لا يقل عن عزم عطالة المقطع المقطوع ، والمتوقع أن اختيار مادة اللأم بالطريقة السابقة يفي بهذا الشرط .

ب ـ المسامير :

١ ـ لأم الشفة ـ يفترض هنا أن الجهد في كامل مقطع الشفة هو الجهد المسموح به في الضغط أو في الشد ، وعلى هذا الأساس يحسب عدد المسامير سواء في قص مفرد أو قص مزدوج .

٢ ـ لأم الجذع ـ نظراً لأن الجذع يقاوم قوة القص بالإضافة إلى عزم الحني فإن المسامير هنا تتعرض لقوى رأسية عبارة عن نصيب كل مسمار من قوة القص التي توزع على المسامير بالتساوي فإذا كان عدد المسامير في لأمة الجذع = n فإن القوة الرأسية :

$$V = \frac{Q}{n}$$

كما تتعرض المسامير لقوى أفقية ناشئة عن تأثير عزم الحني ، وتتناسب القوة في مسمار ما بنسبة بُعده عن محور المقطع . ففي شكل (٥ ـ ٤٣) يتحمل المسماران المتطرفان القوة التي يمثلها ذلك الجزء من بياني الجهد في المسافة h_1 التي يشغلها المسماران ، أي :

$$H = \frac{1}{2} f_{av_2} \times (h_1 - d) \times t_w$$

حيث t_w = سمك الجذع .

مثال (٥ ـ ١٣) ـ المطلوب لأم مقطع لكمرة من *S.I.B. 500* باستعمال مسامير قطر ٢٠ مم ، وفيه :

الشفة : $flange: 185 \times 27$

الجذع : $web: 446 \times 18$

عزم عطالة المقطع : $I_x = 68\ 740\ cm^4$

أولاً ـ مادة اللأم :

١ ـ الشفة ـ إذا كان عرض اللوح ٢٠ سم ، بمساواة المساحتين الصافيتين :

$$(18.5 - 2 \times 2.0) \times 2.7 = (20.0 - 2 \times 2.0) \times t$$

سمك لوح اللأم : $t' = 2.5\ cm$

نأخذ لوحاً واحداً : $Pl.\ 200 \times 25$

٢ ـ الجذع : $(44.6 - 6 \times 2.0) \times 1.5 = (40.0 - 6 \times 2.0) \times t''$

سمك لوحي اللأم $\quad t'' = 2.1 \; cm$

نأخذ لوحين : $\quad 2Pl \, 400 \times 11$

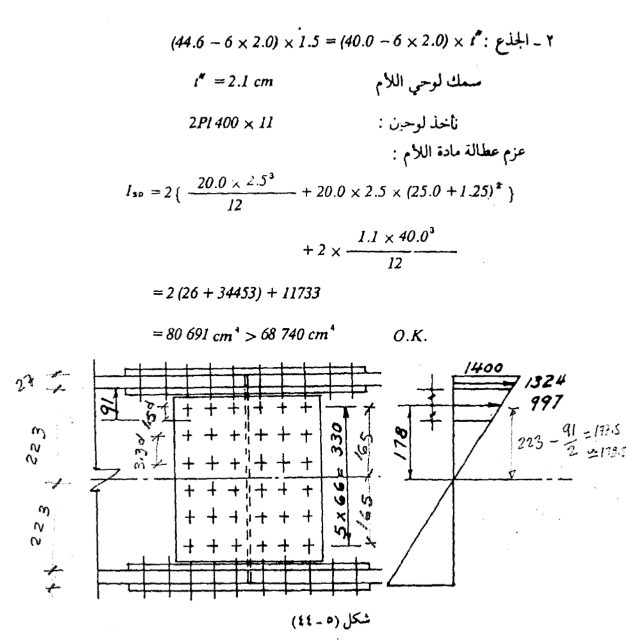
عزم عطالة مادة اللأم :

$$I_{sp} = 2\left\{ \frac{20.0 \times 2.5^3}{12} + 20.0 \times 2.5 \times (25.0 + 1.25)^2 \right\}$$

$$+ 2 \times \frac{1.1 \times 40.0^3}{12}$$

$$= 2\,(26 + 34453) + 11733$$

$$= 80\,691 \; cm^4 > 68\,740 \; cm^4 \qquad O.K.$$



شكل (٥ ـ ٤٤)

وسبب الزيادة الكبيرة في عزم العطالة هو ابتعاد لوحي لأم الشفتين عن المحور المحايد . ولا نحصل على مثل هذه الزيادة إذا استعملنا لوحي لأم للشفة (في الواقع ثلاثة ألواح) . وقد يقتضي الأمر زيادة مساحة هذين اللوحين عن مساحة الشفة لتعويض النقص في عزم عطالة لوحي لأم الجذع ، حيث أنهما أقل عمقاً من لوح الجذع .

ثانياً ـ المسامير :

١ ـ مسامير الشفة ذات القص المفرد

القوة المطلوب نقلها :

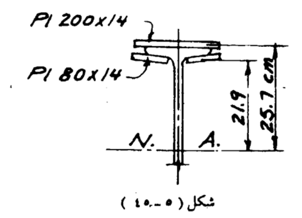
$$S = (18.5 - 2 \times 2.0) \times 2.7 \times 1324 = 54.810\ Kg$$

عدد المسامير ذات القص المفرد

$$n = \frac{54810}{3079} = 18$$

والعدد تسعة في صف واحد غير مقبول ولذلك

يجب عمل لأمة ذات قص مزدوج (شكل ٥ ـ ٤٥)



شكل (٥ ـ ٤٥)

$$(18.5 - 2 \times 2.0) \times 2.7 = (20.0 - 2 \times 2.0) \times t' + 2\,(8.0 - 2.0) \times t'$$

$$t' = 1.4\ cm$$

تدقيق عزم العطالة :

$$I_{sp} = 2\ \{\ 20.0 \times 1.4 \times 25.7^2 + 16.0 \times 1.4 \times 21.9^2\}$$

$$+ 2 \times \frac{1.1 \times 40.0^3}{12}$$

$$= 70\,207\ cm^4 > 68\,740\ cm^4 \qquad O.K.$$

عدد المسامير ذات القص المزدوج :

$$R_{d.s.} = 2 \times \frac{\pi \times 2^2}{4} \times 980 = 6258\ Kg \quad (R_{least})$$

$$R_b = 2.0 \times 2.7 \times 1960 = 10\,534\ Kg$$

$$n = \frac{54{,}810}{6158} = 9,\ \text{tul cn}\ 10$$

٢ ـ مسامير الجذع :

تقاوم المسامير الثلاثة الأكثر بعداً عن المحور المحايد القوة في مسافة 91mm من عمق الجذع :

الجهد المتوسط $f_{av} = 1400 \times \frac{178}{250} = 997\ Kg/cm^2$

$$S = (9.1 - 2.0) \times 1.8 \times 997 = 12\,742\ Kg$$

القوة على كل مسمار : $\frac{12742}{3} = 4247\ Kg < 6158\ Kg$

$$(R_b = 2.0 \times 1.8 \times 1960 = 7056\ Kg > R_{d.s.})$$

ملاحظة : المعتاد أن مقاطع الكمرات تكون معرضة لعزوم حني مصحوبة بقوى قص . وفي هذه الحالة تقاوم المسامير على كل من جانبي القطع قوة القص عند ذلك المقطع .

ويرى بعضهم أن تحسب المسامير على قوة قص أكبر ، ويبالغون فيطالبون بحسابها على أساس ما يستطيع الجذع أن يقاومه . ونرى أن تحسب المسامير على أكبر قوة قص تتعرض لها الكمرة . وتقاوم المسامير على كل من جانبي القطع قوة القص بالتساوي ولنفرض أننا سنحسب المسامير على أساس مقاومة (مقدرة) الجذع في القص :

$$Net\,A_w = (44.6 - 6 \times 2.0) \times 1.8 = 58.68\ cm^2$$

$$S = 58.68 \times 840 = 49\,291\ Kg$$

القوة الرأسية على كل مسمار :

$$V = \frac{49291}{18} = 2738\ Kg$$

القوة الكلية على المسمار الأكثر بعداً عن المحور المحايد :

$$Res = \sqrt{(4247)^2 + (2738)^2}$$

$$= 5053\ Kg < 6158\ Kg \qquad O.K.$$

الطريقة الثانية لتقليل عدد المسامير في اتجاه خط القوة باستخدام اللأمات

لأم الوتر :

المعتاد أن يؤخذ كل من الوتر العلوي والوتر السفلي مقطعاً واحداً بكامل طول الجمل ، إلاّ أن الوتر ينقطع في إحدى الحالات الآتية :

أ ـ إذا كان طول الوتر أكثر من الطول الذي تورد به المقاطع المطلوبة .

ب ـ إذا كان طول الجمل أكثر من الطول الممكن نقله بوسائل النقل المتاحة .

جـ ـ إذا انكسر اتجاه الوتر .

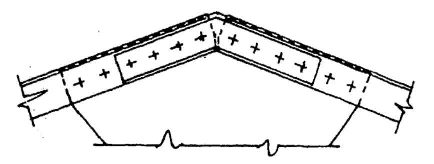
ويمكن تغيير مقطع الوتر في حالتين :

ـ إذا انكسر اتجاه الوتر .

ـ إذا انتهى طول المقطع ، ويتم ذلك عند عقدة . ويلزم عند ذلك أن يمتد المستوى الخارجي للرجلين البارزتين . وإن كان هذا يعني أن خطي المسامير لا يتقابلان مع ما يتبع ذلك من عزم حني عند العقدة .

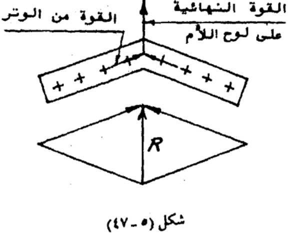
وإذا كان عدد المسامير اللازمة لنقل القوة من عضو الوتر إلى لوح التجميع ، أو عند لأم الوتر بعضه ببعض ، أكبر مما يسمح به (أي أكثر من ٧ في خط القوة) وجب لأم الوتر ، سواء أكان الوتر مستقيماً أم منكسراً . وقد سبق أن شرحنا لأم الوتر المستقيم على لوح التجميع عند عقدة وكذلك فيما بين العقدتين ، والآن نتكلم عن لأم الوتر المنكسر .

أ ـ لأم الوتر العلوي :



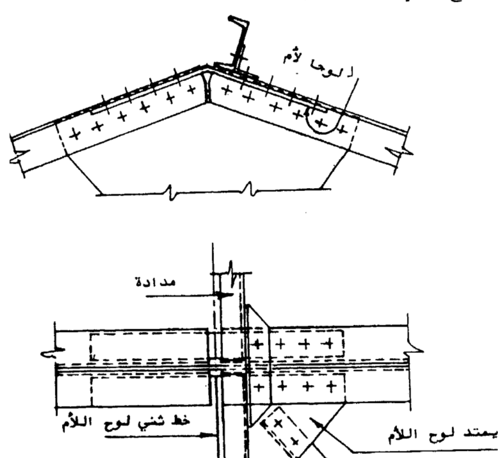
شكل (٥ ـ ٤٦)

أ ـ وضع لوحي لأم على الرجلين المربوطتين ـ في هذه الحالة تعمل المسامير التي تربط لوحي اللأم في ٤ مستويات قص وتعمل المسامير خارج لوحي اللأم في قص مزدوج . ويحسب مقطع لوح اللأم ليقاوم القوة التي تنتقل إليه من المسامير التي تربطه . ولوح اللأم في هذه الحالة منكسر على شكل رقم ٨ . وللقوتين اللتين تؤثران على اللوح المنكسر محصلة تحتاج لعدد من المسامير أقل كثيراً من تلك التي في اللوحين معاً .



شكل (٥ ـ ٤٧)

أ - أما وضع لوحي لأم على الرجلين البارزتين للوتر العلوي فإنه يحتاج إلى دراسة عدم تعارض رؤوس المسامير أو رؤوس البراغي في الوصلات بالموقع مع مدادتي القمة أو قبقابيهما .

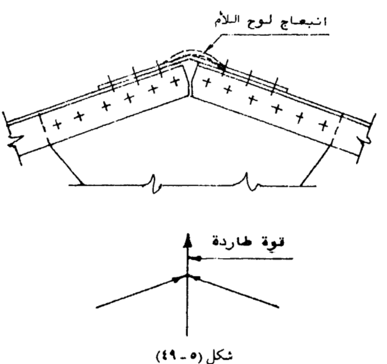


شكل (٥ - ٤٨)

ويمتد لوح اللأم ليتسع لوصل أربطة الريح في حالة وجودها .

ويلاحظ أن وضع لوح لأم فوق زاويتي العضو غير مناسب (رغم أنه يكون لوحاً واحداً لا لوحين) وذلك لسببين : الأول انه يغيرّ من منسوب المدادتين عند المفصل .

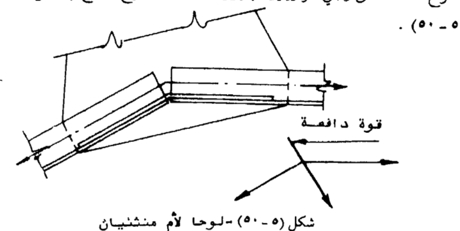
والثاني أن اللوح ، وهو مثني ، يتعرض لقوة طاردة هي محصلة ما يصل اللوح من قوتي الضغط بضلعي الوتر ، مما يتسبب في انبعاجه (شكل ٥ - ٤٩) .



شكل (٥ - ٤٩)

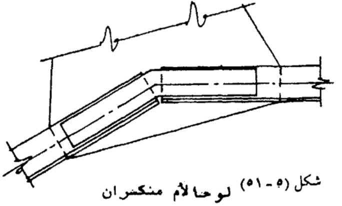
ب - لأم الوتر السفلي :

يوضع لوحا اللأم على الرجلين البارزتين حتى تكون محصلة القوتين في اللوح ضاغطة على رجلي الزاويتين البارزتين فلا يحدث للّوح انبعاج (شكل ٥ - ٥٠) .



شكل (٥ - ٥٠) - لوحا لأم منثنيان

كما يمكن استعمال لوحي لأم منكسرين على الرجلين المربوطتين (شكل ٥ ـ ٥١) .

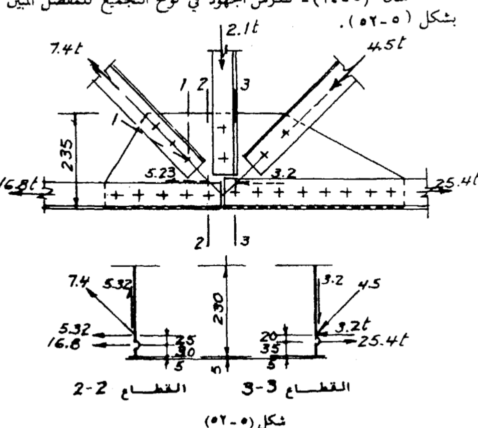


شكل (٥ - ٥١) لوحا لأم منكسران

الجهود في ألواح التجميـــع :

لعل دراسة هذا الموضوع تكون أوضح عن طريق مثال محلول .

مثال (٥ ـ ١٤) ـ لندرس الجهود في لوح التجميع للمفصل المبين بشكل (٥ -٥٢) .



شكل (٥ - ٥٢)

القطاع ١ - ١

القوة في القطر D-3 تنتقل إلى لوح التجميع بثلاثة مسامير. فعند المسمار الثالث تكون القوة كلها قد انتقلت إلى لوح التجميع ويكون قد انتهى الجزء الحامل من القطر ويكون القطاع ١ - ١ هو القطاع الحرج في اللوح بالنسبة لهذ القوة . ويؤخذ جزءا القطاع عمودين على حرفيّ اللوح وبذلك يكون طول ١ - ١ هو أقصر الأطوال بالنسبة للقوة 7.4 t . ونظراً لأن هذا القطاع غير عمودي على القوة فيكون الطول الفعال ٨٠ ٪ من طوله.ويكون .

$$A_{net} = \{ 0.8 (10.5 + 13.5) - 1.7 \} \times 1.0$$

$$= 17.5 \ cm \ fact = \frac{7\,400}{17.5} = 429 \ Kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{7\,400}{17.5} = 429 \ Kg/cm^2$$

$$< 1400 \ Kg/cm^2 \qquad O.K$$

القطاع ٢ - ٢ :

عند هذا القطاع تكون القوة في الوتر L-3 قد انتقلت كلها إلى لوح التجميع،كما يقطع امتداد القوة في القطر D-3 وبذلك يكون القطاع ٢ - ٢ معرضاً إلى قوة شد مقدارها 22 030 Kg وإلى قوة قص قدرها 5230 Kg وتعمل قوة الشد على بعد 7.9 cm من مركز القطاع ويكون عزم الحني على مقطع اللوح:

$$M = 22030 \times 7.9 = 174\,040 \ Kg \ cm$$

مساحة المقطع $A = 23.0 \ cm^2$

عزم عطالة المقطع $I = 1014 \ cm^4$

معاير المقطع $Z = 88.2 \ cm^3$

$$f_{act} = \frac{22\ 030}{23.0} + \frac{174\ 040}{88.2}$$

$$= 958 + 1973 = 2931\ Kg/cm^2 \qquad N.G.$$

وهذا الجهد غير مأمون ، يضاف إلى ذلك أن المقطع معرض لقوة قص ، مما يُحدث جهوداً قصوى تزيد على هذه القيمة . كما يلاحظ أننا في حساب خصائص المقطع قد أهملنا ثقب المسمار ، أي أن الجهد الفعلي يزيد كثيراً على القيمة المذكورة .

القطاع ٣ ـ ٣ :

محصلة القوة في الوتر $L-4$ مع المركبة الأفقية في القطر $D-4$ تساوي $22.2t$ + وتؤثر على بعد $8.3\ cm$ من مركز القطاع وبذلك تُحدث فيه عزم حني قدره $184\ 260\ kg\ cm$ وبذلك يصبح الجهد فيه :

$$f_{act} = \frac{22\ 200}{23.0} + \frac{184\ 260}{88.2}$$

$$= 965 + 2089 = 3054\ Kg/cm^2 \qquad N.G.$$

وجهد الشد هنا أكبر من جهد الشد في القطاع ٢ ـ ٢ لكن قوة القص أقل : $3.2\ t$ مقابل ٥,٣٢ طن .

مما تقدم يتبين أنه عند المفصل الذي يكون الوتر فيه غير مستمر تحدث في لوح التجميع جهود أعلا كثيراً من المسموح بها بل تتعدى حد الخضوع .

وبمقارنة هذه الحالة بحالة الوتر المستمر نجد أن كلاً من القطاع ٢ ـ ٢ و٣ ـ ٣ يحتوي ، بالإضافة إلى مقطع اللوح ، على زاويتي الوتر ، فإذا اعتبرنا أن الزاويتين تقاومان القوة في الوتر كان على اللوح مقاومة القوة في القطر فقط ومن دون حساب ، يمكن القول أن الجهد سيكون مأموناً .

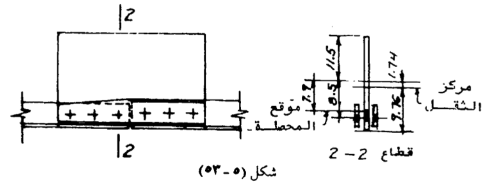
وبفكرة مشابهة يمكن خفض الجهد إلى الحدود المسموح بها وذلك باستخدام الواح لأم إما على الرجلين المربوطتين وإمّا على الرجلين البارزتين .

مثال (٥ ـ ١٥) ـ لندرس الآن تطبيق ذلك على المثال السابق .

أ ـ لوحا لأم على الرجلين المربوطتين :

(يلاحظ أن هناك فرقَ ملليمتر واحد بين سمكي الزاويتين)

باستخدام لوحي لأم مقاس 10×55 .



شكل (٥ ـ ٥٣)

$$A_{net} = 23.0 \times 1.0 + 2 \times 5.5 \times 1.0 - 3 \times 1.7 \times 1.0$$

$$= 28.9\ cm^2$$

مركز المقطع :

$$e = \frac{2 \times 5.5 \times 1.0 \times 8.5 - 3 \times 1.7 \times 1.0 \times 8.5}{28.9}$$

$= 1.74\ cm$ من منتصف مقطع اللوح

$$I = \frac{1.0 \times 2.30^3}{12} + \frac{2 \times 1.0 \times 5.5^3}{12} + 23.0 \times 1.74^2$$

$$+ 2 \times 5.5 \times 6.76^2 - 3 \times 1.7 \times 1.0 \times 6.76^2$$

$= 1615\ cm^4$

بعد القوة عن المركز: $e = 7.9 - 1.74 = 6.16\ cm$

$M = 22\,030 \times 616 = 135.705\ Kg\ cm$

$$f_{act} = + \frac{2\,2030}{28.9} + \frac{135\,705 \times 9.76}{1615}$$

$$= + 762 + 820 = 1582\ Kg\ cm^2$$

لا زال الجهد عاليا وإن كان نقص إلى ما يقرب من النصف .

ب ـ لوح لأم على الرجلين البارزتين :

باستخدام لوح لأم مقاسه : 170×6 شكل (٥ ـ ٥٤)

$$A_{net} = 23.0 \times 1.0 + 17.0 \times 0.6 - 2 \times 1.7 \times 0.6 - 1.7 \times 1.0$$

$$= 29.46\ cm^2$$

مركز المقطع عند

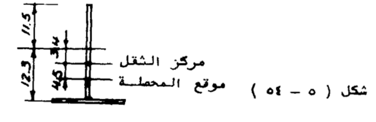
$$e = \frac{(17.0 - 3.4) \times 0.6 \times 12.3}{29.46} = 3.4\ cm$$

$$I = \frac{1.0 \times 23.0^3}{12} + 23.0 \times 3.4^2 - 1.7 \times 4.0^2 + (17.0 - 3.4) \times 0.6 \times 8.9^2 = 1902\ cm^4$$

$M = 22030 \times 4.5 = 99\,135\ Kg\ cm$

$$f_{act} = \frac{22030}{29.46} + \frac{99135}{1902} \times 9.2$$

$$= 748 + 480 = 1228\ Kg/cm^2 \qquad O.K.$$



شكل (٥ ـ ٥٤)

مما تقدم يتبين أن لوح التجميع عند مفصل حيث الوتر غير مستمر يتعرض لجهود غير مأمونة . ويمكن خفض تلك الجهود بجعل الوتر مستمراً وإلا لزم استعمال لأمات . والأفضل أن يكون لوح اللأم على الرجلين البارزتين .

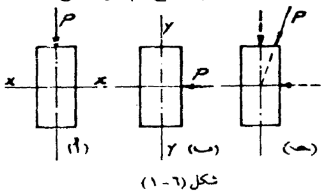
الفصل السادس

الكمرات

مقدمــة :

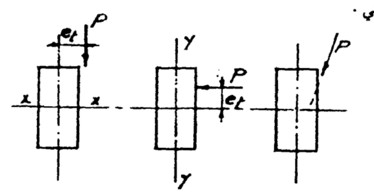
الكمــرة (Beam أو Girder) هي ذلك العضو من المنشأ الذي يحمل أحمــالاً في مستويات عمودية على محوره الطولي ، ويطلق عليها لذلك أحمال عرضية ، فإذا مرت الأحمال بمراكز المقاطع فإنها تتسبب في حدوث عزوم حني ، تكون في الأغلب مصحوبة بقوى قص . وتتغير العزوم وقوى القص من مقطع إلى آخر بحسب توزيع الأحمال على الكمرة.

وقد يتغير مقطع الكمرة ، في اتجاه محورها الطولي، ليناسب توزيع عزوم الحني أو ليناسب توزيع قوى القص . وإذا مر الحمل بأحد المحورين الرئيسيين لمقطع الكمرة (شكل ٦ ـ١ أ و ب) فإنه يحدث عزم حني حول المحور الآخر ، فهو عزم حني بسيط (Simple Bending) . وإذا مر حمل بكل من المحورين ، أو كان الحمل مائلاً على المحورين الرئيسيين (شكل ٦ ـ ١ حـ) فإنه يحدث في المقطع عزم حني مزدوج (Double Bending)



شكل (٦ ـ ١)

وإذا خرج الحمـــل العــرضي عن نقطة تقاطع المحورين الرئيسيين تسبب في حدوث عزم ليّ = $P.e_t$ (شكل ٦ - ٢) ، بالإضافة إلى عزم (أو عزمي) الحني .



شكل (٦ -٢) مقاطع معرضة لعزم التواء

المقاطــع المستعملــة للكمرات:

لما كان الجهـد الناشيء عن عزم الحني يتوقف على عزم عطالة المقطع أو بالأحرى على معاير المقطع *(Modulus of Section)* المرموز له بالرمز $Z = \frac{I}{y}$ ، حيث جهد الحني :

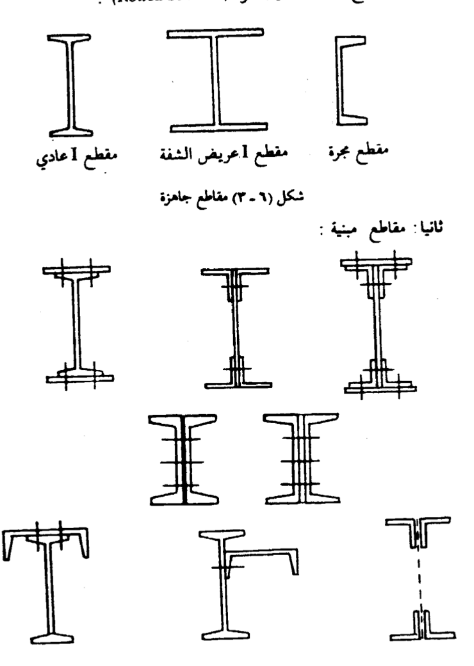
$$f_b = \frac{M.y}{I} \qquad (6-1)$$

$$f_b = \frac{M}{Z} \qquad (6-2)$$

فإن المقاطع المعرضة لعزم حني تأخذ الشكل الذي يعطى عزم عطالة (أو Z) اكبر حول المحور الذي يحدث حوله عزم الحني.

ومقاطع لكمرات المعرضة لعزم حني بسيط تأخذ أحد الأشكال الآتية:

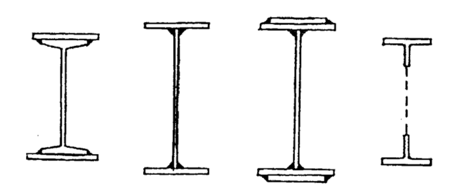
أولا : مقاطع مدرفلة أو جاهزة *(Rolled Sections)* :



شكل (٦ - ٣) مقاطع جاهزة

ثانيا : مقاطع مبنية :

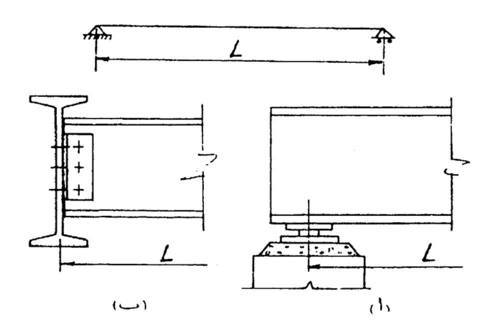
شكل (٦ - ٤) مقاطع مبرشمة مبنية *(Riveted Built- up Sections)*



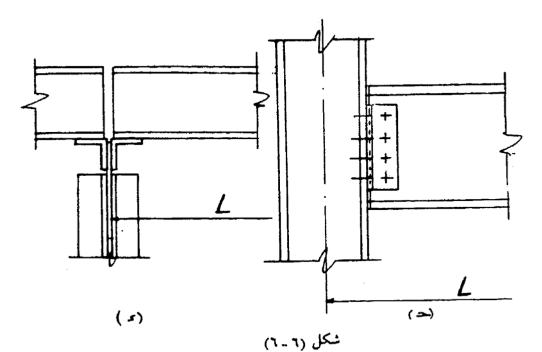
شكل (٦ - ٥) مقاطع ملحومة مبنية (Welded Built- up Sections)

بحر الكمرة (Span of Beam) :

هو المسافة بين محوري الركيزتين (الكرسيين) أو محوري العضوين اللذين يحملانها (مهما كان عرض الحاملين) .



شكل (٦- ٦)



شكل (٦ ـ ٦)

الأحمال على الكمرات:

تتوقف قيمة الأحمال ونوعها على موقع الكمرة من المنشأ وعلى الغرض من المنشأ نفسه.

١ ـ الحمل الميت : *(Dead Load)*

أ ـ الوزن الذاتي ـ يتوقف هذا الوزن على فتحة الكمرة ونوع الفتحة (بسيطة أو مستمرة) كما يتوقف على الأحمال الواقعة على الكمرة : قيمتها ومداها وطبيعتها كما يتوقف على الجهد المسموح به لمادة الكمرة . ويتراوح عمق الكمرة بين $\frac{١}{٤٠}$ من الفتحة للكمرات القليلة الحمل وبين $\frac{١}{١٠}$ الفتحة للكمرات الثقيلة الأحمال.

ب ـ الحمل المضاف *(Superimposed Load)*ـ ويشمل تلك الأحمال التي لا تتحرك كما لا يحركها غيرها مثل الأرضيات *(Floors)* سواء أكانت

معدنية أو خشبية أو بيتونية . ثم كسوة الأرضية *(Flooring Material)* من البلاط *(Tiles)* أو الخشب . كما يشمل الحوائط *(Walls)* والقواطيع *(Partitions)* وكذلك السقف المستعار *(False Ceiling)* . وقد يكون الحمل موزعا بالتساوي *(Uniformly Distributed)* وقد يكون موزعاً بنظام معين *(Distributed)* وقد تحمل الكمرة ، التي تسمى عندئذ كمرة رئيسية أو رافدة رئيسية ، قد تحمل كمرات أخرى ثانوية *(Secondary Beams)* تنقل اليها احمالها في نقط محددة على هيئة احمال مركزة *(Concentrated Loads)* .

٢ ـ الحمل الحي *(Live Load)*

ويمكن تصنيفه إلى ثلاثة أنواع :

أ ـ حمل حي موزع ، وتحدد قيمته المواصفات سواء على أسطح المباني والمنشآت كما سبق أن أوضحناه ، أم على أرضيات المباني والمنشآت المختلفة . وتحدد المواصفات الأحمال على هذه الأخيرة ـ وهي بالكيلوجرام على المتر المربع ـ كما يلي :

المباني السكنية	٢٠٠
المكاتب وحجرات التدريس والسلالم والشرفات ومداخل المساكن وصالاتها والمستشفيات	٣٥٠
الحجرات العامة ومتاجر التجزئة والمطاعم وحجرات الاجتماع ذات المقاعد الثابتة	٤٠٠
دور السينما والتمثيل والملاهي والمدرجات ودور الكتب وحجرات المحفوظات ودور القضاء ودور العبادة	٥٠٠
حجرات الاجتماع ذات المقاعد غير الثابتة وأرصفة الركاب	٦٠٠
حجرات عفش المسافرين والمخازن والجراجات ومدرجات الملاعب	٧٥٠
مخازن البضائع الثقيلة	١٠٠٠

ب ـ حمل حي خاص ، مثل الآلات الثابتة والمصاعد والتربينات .

حـ ـ حمل متدحرج *(Rolling Load)* ، ويشمل العربات والقطارات والمرفاعات ويُعطَى على هيئة أحمال مركزة عند مواقع العجـلات ، كما تحـدَّد المسافات بين العجلات . وأحيانا يستبدل هذا الحمل بحمـل مكافىء موزع *(Equivalent Load)* ، وتعطى قيمة له معادلة لتأثير الأحمال المتدحرجة عند حساب كمرات الجسور أو روافدها .

كما تحسب مدادات الأسطح على حمل حي مركز قدره ١٥٠ كيلوجراما يراجع عليه مقطع المدادة بعد تصميمها على الحمل الحي الموزع .

٣ ـ الصدم الدينـاميكي *(Impact)* :

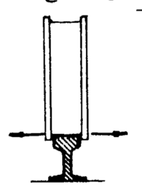
وهو التأثير الديناميكي *(Dynamic Effect)* الناشيء من حركة الأحمال المتدحرجة بسبب عدم استواء سطح الطريق وعدم انتظام استدارة العجلات أو عدم انضباط لولبات العجلات . وتعطى له قيمة *(I)* ترفع بها مقادير مسببات الجهد من قوى محورية وعزوم حني وقوى قص وعـزوم لي . وتؤخـذ القيم الآتية عند تصميم المنشآت المعرضة للصدمات :

التربينات والمصاعد	١٠٠٪
الآلات الثابتة المسببة للاهتزازات	٥٠ ٪
المرفاعات الكهربية المتحركة	٢٥ ٪
المرفاعات اليدوية المتحركة	١٠ ٪

٤ ـ الصدم الجانبي *(Lateral Shock)* :

تحدثه العجلات عند تحركها بسبب الخلوص بين العجلات والقضبان

التي تسير عليها وبسبب تأرجح الحمل جانبياً . وتعادل الصدمة ١٠٪ من قيمة أقصى حمل على العجلة وتعمل عند سطح القضيب (شكل ٦ـ٧) .



شكل (٦ – ٧) عجلة ونش سيار

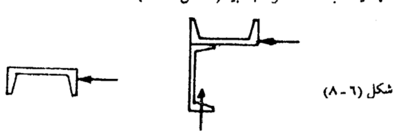
٥ ـ قوة الكبح أو قوة الفرملة *(Braking Force)* :

عند بدء الحركة تُحدث العجلات قوة أفقية طولية عند سطح القضيب كما تحدث القوة نفسها في اتجاه مضاد عند إيقاف الحركة وهذه القوة عبارة عن الاحتكاك بين الفولاذ والفولاذ وقيمتها ١٥٪ من قيمة الحمل على العجلة، ولا يدخل في حسابها التأثير الديناميكي .

وتعتبر كل من قوة الصدم الجانبي وقوة الكبح قوة ثانوية

٦ ـ ضغط الريح *(Wind Pressure)* :

يراجع تصميم الكمرات الجانبية بإدخال ضغط الريح ضمن القوى المؤثرة عليها . ويكون ضغط الريح عاملاً مهماً إذا كان الحمل الرأسي على الكمرة خفيفاً كأن تحمل ألواحاً معدنية (صلب أو ألمنيوم) مموجة . وحينئذ يختار مقطعها ليناسب تلك القوة الجانبية (شكل ٦ ـ ٨)



شكل (٦ ـ ٨)

والقوى الأفقية الثلاث وإن كانت تعتبر ثانوية بالنسبة إلى الأعضاء الرئيسية للمنشآت إلا أنها تعتبر قوى رئيسية عند حساب الشكالات والأربطة التي تقاوم تلك القوى .

رابعاً ـ اختيار المقطع :

١ ـ الكمرات المعرضة لعزم حني بسيط .

معادلة الجهد فى هذه الحالة :

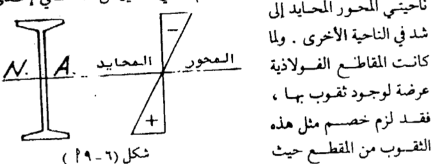
$$f = \frac{M}{Z} \quad (6\text{-}3)$$

وبتحويل هذه إلى المعادلة التصميمية :

$$Z_{req} = \frac{M}{f_{pt}} \quad (6\text{-}2)$$

(حيث إن الجهد المسموح به في حالة الحني هو نفسه المسموح به في حالة الشد)

ولما كانت الجهود الناشئة عن عزم الحني تتغير من ضغط في إحدى ناحيتي المحور المحايد إلى شد في الناحية الأخرى . ولما كانت المقاطع الفولاذية عرضة لوجود ثقوب بها ، فقد لزم خصم مثل هذه الثقوب من المقطع حيث



شكل (٦ ـ ٩ أ)

جهود الشد ، ولا سيما لو كانت تلك الثقوب في الشفة (حيث جهد الشد الأكبر) . في هذه الحالة تصبح المعادلة التصميمية :

$$Z_{net} = \frac{M}{f_{pt}} \quad (6\text{-}4)$$

Z net

ويمكن القول بصفة مبدئية أن النقص في قيمة معاير المقطع بسبب ثقوب المسامير يصل ـ كما في حالة أعضاء الشد ـ إلى ١٥٪ . وبذلك تصبح المعادلة التصميمية :

$$Z_{req} = \frac{M}{0.85\ f_{bt}} \qquad (6-5)$$

الحالة الأولى : اختيار مقطع جاهز :

إن اختيار مقطع جاهز ليحقق معاير المقطع الناتج عن المعادلة (3-6) أو (5 - 6) أمر ميسور باستخدام جداول المقاطع المعدنية التي يبين فيها قيمة Z لكل مقطع حول كل من المحورين الرئيسيين ، ولكن القيم المذكورة هي للمعاير الكلي أي للمقطع دون خصم ثقوب . فإذا كان بالمقطع ثقوب حُسب له عزم العطالة الصافي ثم حسب معاير المقطع الصافي لكل من الألياف العليا والسفلى (إذا ما كان موقع المحور المحايد غير متماثل بالنسبة للمقطع) .

(مثال ٦ ـ ١) ـ المطلوب اختيار مقطع I عادي ليقاوم عزم حني قيمته 5tm . ماذا يكون المقطع لو وجد بكل شفة ثقبان قطر ١٤ مم ؟

أولا ـ مقطع دون ثقوب :

$$Z_{req} = \frac{500\ 000}{1400} = 357\ cm^3$$

$$Try\ S.I.B.\ 240 \qquad Z_x = 354\ cm^3$$

$$f_{act} = \frac{500\ 000}{354} = 1412\ Kg/cm^2$$

$$\approx\ 1400\ Kg/cm^2 \qquad \text{May be allowed}$$

ثانياً ـ مقطع ذو ثقبين في الشفة :

$$Z_{net} = \frac{500\,000}{1400} = 357\ cm^3$$

$$Z_{req} = \frac{357}{.85} = 420\ cm^3$$

Try S.I.B. 260 $- Z_x = 442\ cm^3$

11.3

26.0 cm

N. A.

0.985

1.41

S.I.B. 260

شكل (٦ - ٩ ب)

آ ـ لا نخصم الثقوب من شفة الضغط:

$A = 53.3\ cm^2 \qquad I_x = 5140\ cm^4$

$A_{net} = 53.3 - 2 \times 1.4 \times 1.41 = 49.35\ cm^2$

موقع المحور المحايد :

$$e = \frac{2 \times 1.4 \times 1.41 \times (13.0 - 0.7)}{49.35} = .985\ cm$$

$I_{net} = 5740 + 49.35 \times 0.985^2 - 2 \times 1.41\,(12.3 + .985)^2$

$= 5091\ cm^4$

$$Z_{net} = \frac{5091}{13.985} = 364\ cm^3\ (\approx 82\%\ Z\ gross)$$

$$f_{act} = \frac{500\,000}{364} = 1374\ Kg/cm^2$$

$< 1400\ Kg/cm^2 \qquad$ O. K

ب ـ بخصم الثقوب من كلا الشفتين:

$I_{net} = 5740 - 4 \times 1.4 \times 1.41 \times (12.3)^2 = 4545\ cm^4$

$$Z_{net} = \frac{4545}{13.0} = 350\ cm^4\ (79\%\ Z_{gross})$$

$$f_{act} = \frac{500\ 000}{350} = 1428\ Kg/cm^2$$

(يمكن قبوله حيث الزيادة في الجهد عن الحالة السابقة ٤٪ فقط) .

وقد سمحت المواصفات بتحقيق الجهود ناحية الشد باستبعاد الثقوب في كلتي الناحيتين،وناحية الضغط دون استبعادها .

الحالة الثانية ـ اختيار مقطع لوحي مبنى :

مقدمة :

المقطع $I\ 260$: $Z_x = 442\ cm^3$ $\quad I_x = 540\ cm^4$

مقدرة المقطع (عزم المقاومة للحني)

$$M_R = 442 \times 1400 = 618\ 800\ Kg\ cm$$

القوة التي تتحملها الشفة :

$$S = 11.3 \times 1.41 \times 1325 = 21\ 110\ Kg$$

عزم مقاومة الشفتين للحني :

$$M_R = 21\ 110 \times 24.6 = 519\ 340\ Kg\ cm$$

نسبة ما تقاومه الشفتان من عزم الحني :

$$= \frac{519\ 340}{618\ 800} = 84\%$$

فالشفتان اللتان تبلغ مساحتها ٦٠٪ فقط من مساحة المقطع تقاومان ٨٤٪ من عزم الحني الذي يتعرض له المقطع :

وقد اتبعت الطريقة التالية في اختيار مقطع لوحي مبني وتسمى طريقة مساحة مقطع الشفة وهي وإن كانت تقريبية من الوجهة النظرية إلاّ أنها تعطي نتائج قريبة جداً من الصحيحة . وفيما يلي استنتاج الطريقة :

إذا كانت مساحة لوح (أو ألواح الشفة) في كل ناحية : A_{pl}

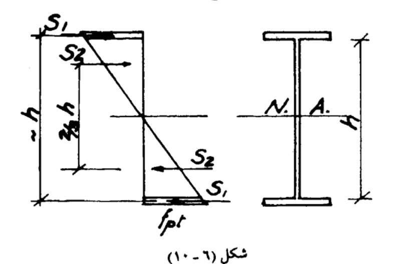
وكانت مساحة لوح الجذع

$$A_w = h \cdot t \qquad (6-6a)$$

القوة بلوح الشفة

$$S_1 \cong A_{pl} \times f_{pt} \qquad (6-6b)$$

القوة بكل من نصفي الجذع



شكل (٦ - ١٠)

$$S_2 \cong \frac{h \times t}{2} \times \frac{1}{2} f_{pt} \cong \frac{A_w}{4} f_{pt} \qquad (6-6c)$$

وتقع في مركز مثلث الجهد .

(في كل من المقدارين السابقين تقريب لقيمة الجهد الفعلي)

عزم مقاومة المقطع :

$$M_R = A_{pl} \times f_{pt} \times h + \frac{A_w}{4} \times f_{pt} \times \frac{2}{3} h$$

$$= f_{pt} \times h \left(A_{pl} + \frac{A_w}{6} \right) \qquad (6-6d)$$

(قيمة h في هذا المقدار تقريبية) .

فإذا أسمينا المقدار $\left(A_{pl} + \frac{A_w}{6} \right)$ مساحة الشفة (A_{fl})

فإن المعادلة الآتية تعطى مساحه الشفة للمقطع الذي ارتفاع جذعه h ليقاوم عزم حني مقداره M :

$$A_{fl} = \frac{M}{h . f_{pt}} \qquad (6-6)$$

فإذا كان بالشفة ثقوب لمسامير قُدِّر النقص في المساحة بـ ١٥٪ وبذلك تصبح المعادلة :

$$A_{fl} = \frac{M}{0.85\, h\, f_{pt}} \qquad (6-7)$$

مثال (٦ ـ ٢) ـ لاختيار مقطع لوحي مبني على شكل I لمقاومة عزم حني قيمته $5.0\ tm$ وكان بالشفة ثقبان لمسمار قطر ١٤ مم .

إذا أخذنا عمق المقطع نفسه في المثال (٦ ـ ١) وهو ٢٦ سم :

وكان ارتفاع الجذع ٢٤ سم وسمكه ٨ مم :

$$A_{fl} = \frac{500\,000}{.85 \times 24 \times 1400} = 17.5\ cm^2$$

$$\frac{1}{6} A_w = \frac{1}{6} \times 24 \times .8 = 3.2\ cm^2$$

$$A_{pl} = 17.5 - 3.2 \quad = 14.3\ cm^2$$

اختيار لوح الشفة : 145×10

لتحقيق الجهد :

$$I = \frac{0.8 \times 24^3}{12} + 2 \times 14.5 \times 12.5^2 = 5453\ cm^4$$

$$I_{net} = 5453 - 4 \times 1.4 \times 1.0 \times 12.5^2 = 4578\ cm^4$$

$$Z_{net} = \frac{4578}{13.0} = 352\ cm^3$$

$$f_{act} = \frac{500\ 000}{352} = 1420\ Kg/cm^2$$

مساحة المقطع المختار : $48.2\ cm^2$

مساحة مقطع $S.I.B.\ N°260$ $53.5\ cm^2$

فهناك وفر حوالي ١٠٪ . كما وأن اختيار مقطع مبني يعطي فرصة لزيادة عمق الكمرة لزيادة جساءتها (وإن كان ذلك يتم على حساب زيادة طفيفة في المساحة . ففي المثال السابق اذا اخترنا مقطعاً جذعه 8×300 وكل من اللوحين 8×130 فان عزم العطالة الصافي يصبح $5670\ cm^4$ بزيادة قدرها ٢٤٪ وإن كان هذا لا يزيد كثيراً في المعاير الصافي للمقطع إذ يبلغ $359\ cm^3$ ويكون الجهد الأكبر في المقطع $1393\ Kg/cm^2$. وتبلغ مساحة المقطع الجديد $50\ cm^2$ وهي زيادة طفيفة إذا ما قورنت بالارتفاع الكبير في قيمة الجساءة ، وكذلك النقص في الجهد في المعدن .

الحالة الثالثة . اختيار مقطع لكمرة شبكيـة :

تتكون الكمرة الشبكية من وترين علوي وسفلي ومن أعضاء الجذع : الأقطار والقوائم .

وتختلف الكمرة الشبكية عن الجمالون في أن وتر الكمرة الشبكية يكون محملاً بكامل طوله : الوتر العلوي أو الوتر السفلي أو كليهما ، كما لو كانـت كمرة ذات مقطع عادي . وبذلك تتعرض أضلاع الوتر المحمل لعزم حني ، باعتباره مستمراً عند العقد ، بالإضافة الى القوة العمودية .

ويفرض عمق الكمرة الشبكية نسبة من بحرها ، وإن كانت لا تصل عادة إلى النسبة في الجمالونات .

وكما هو في الجمالونات فإن القوة في الأوتار تحسب من عزم الحني عند قطب الوتر بقسمته على العمق النظري للكمرة : الذي هو البعد بعد مركزي مقطعي الوترين . وعلى هذا فإن القوة في الوترين تتناسب عكسياً مع عمـق الكمرة .

أما القوى في أعضاء الجذع فتحسب من قوة القص في منتصف العقلة فتكون

للنظام الفردي للأقطار :

$$S_D = \pm \frac{Q}{\sin \alpha} \qquad (6-8)$$

للنظام المزدوج للأقطار :

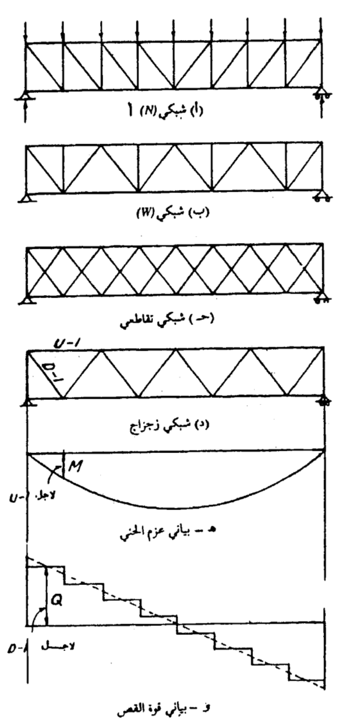
ـ باعتبار القطرين يعملان معاً :

$$S_D = \pm \frac{Q}{2\sin \alpha} \qquad (6-9)$$

ـ باعتبار قطر الشد فقط عاملاً :

$$S_D = +- \frac{Q}{\sin \alpha} \qquad (6-10)$$

حيث α هي زاوية ميل القطر على الوتر ، فالقوة في القطر تتناسب عكسياً مع زاوية ميله .



شكل (٦ ـ ١١) حساب القوى في اعضاء الجمال المتوازية الوترين

فاذا كان بحر الكمرة = $L\ m$

وكانت مسافة العقلة = $a\ m$

. وكان العمق النظري للكمرة = $h\ m$

فإن القوة القصوى في كل من الوترين $S_c \pm \dfrac{wL^2}{8h}$

وعزم الحني في العقلة $M_a = \pm \dfrac{wa^2}{10}$

مثال (٦ ـ ٣) ـ لاختيار مقطع لكمرة شبكية بحرها $L = 5.00\,m$ لمقاومة عزم حني قدره $5.0\ tm$

(يفضل أن تكون مثل هذه الكمرات الشبكية ملحومة) .

الحمل على الكمرة : $w = \dfrac{5000 \times 8}{(5)^2} = 1600\ Kg/m'$

قوة القص القصوى : $Q = 1600 \times 2.5 = 4000\,Kg$

وبأخذ عمق ٣٢ سم مثل المقطع في المثال السابق :

نفرض أن العمق النظري $h = 29\ cm$

القوة في الوتر $S_c = \pm \dfrac{500\,000}{29} = \pm 17\,240\ Kg$

لنقسم الوتر العلوي كما في شكل (٦ ـ ١١ د) إلى ١٠ أقسام كل قسم :

$a = 50.0\ cm$

أ ـ مقطع الوتر العلوي :

$$M_a = \frac{1600 \times (.5)^2}{10} = 40.0\ Kg\,m$$

$Try\ 2L\ \ 65 \times 7,\ A = 2 \times 8.7\ cm^2,\ Z_x = 2 \times 7.18\ cm^3$

$$f_{act} \cong \frac{17240}{17.4} + \frac{4000}{14.36}$$

$$\cong 991 + 279$$

$$\cong 1270\ Kg/cm^2$$

$$< 1300 \qquad (O.K.)$$

ب ـ مقطع الوتر السفلي :

$$Try\ 2L^s\ 55 \times 6\ ; A = 2 \times 6.31\ cm^2$$

$$f_{act} = \frac{17240}{12.62} = 1366\ Kg/cm^2$$

$$< 1400 \qquad (O.K.)$$

حـ ـ مقطع قطر الشد الأول :

طول القطر : $L_D = \sqrt{(29)^2 + (25)^2} = 38\ cm$

قوة القص في منتصف القطر: $Q_1 = 4000 - 1600 \times .125 = 3800\ Kg$

قوة الشد في القطر الأول: $S_{D1} = \frac{3800.}{(29/38)} = 5000\ Kg$

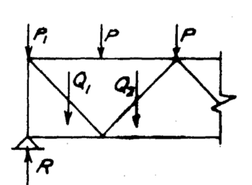
اختيار زاوية واحدة : $A_{req} = \frac{5000}{1400} \div \frac{3}{4}$

$$= 4.76\ cm^2$$

$$Try\ L\ 50 \quad 5 \qquad A = 4.80\ cm^2$$

$$Useful\ Area\ (4.5 + \frac{1}{2} \times 5) \times 0.5 = 3.50\ cm^2$$

$$f_{act} = \frac{5000}{3.5} = 1429\ Kg/cm^2\ (May\ be\ used)$$



شكل (٦-١٢)

د - مقطع قطر الضغط الأول :

قوة القص عند القطر الأول : $Q_2 = 4000 - 1600 \times 1.375 = 3400\ Kg$

قوة الضغط في القطر الأول : $S_{D2} = \frac{3400}{29 / 38} = 4455\ Kg$

$L_b = 0.8 \times 38 = 30.4\ cm$

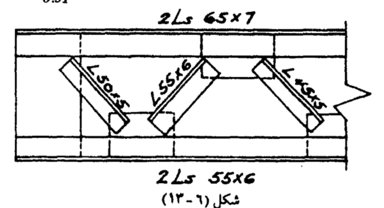
Try IL 55×6 ; $A = 6.31\ cm^2$, $r_v = 1.01\ cm$

$$\frac{L_b}{r} = \frac{30.4}{1.07} = 28.4$$

$.f_{pb} = 1300 - 0.06 \times 28.4^2 = 1252\ Kg/cm^2$

$f_w = 0.6 \times 1252 = 751\ Kg/cm^2$

$$f_{act} = \frac{4455}{6.31} = 706\ Kg/cm^2 \qquad (O.K.)$$



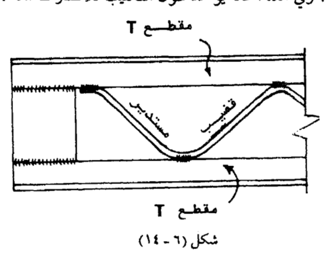
شكل (٦-١٣)

مساحة المقطع :

$17.40\ cm^2$	:	$2L^s\ 65\times7$
12.62	:	$2L^s\ 55\times6$
6.31	:	$L\ 55\times6$
36.33		
6.67	:	ألواح $20\%\approx$
$43.0\ cm^2$		

وهذه المساحة أوفر بنحـو ١٠ ٪ من الكمـرة I الملحومـة . وبالطبـع تَستهلك بعضاً من هذا الوفر التكلفةُ الزائدة في العمالة .

تعقيب : أوردنا هذا المثال لمقارنة الكمرة الشبكية بالكمرة مقطع I . إذ تختار مقاطع لأعضاء الكمرات الشبكية أكثر اقتصـاداً : فمثـلاً يستعمـل في الأوتار مقطع T يؤخذ من كمـرة I تشـق طولياً ، ليس ضرورياً في المنتصف فيؤخذ جزؤها الأكبر للوتر العلوي وبذلك يمكن لحام الأقطار مباشرة فيها دون حاجة إلى ألواح تجميع وهذا يحقق وفراً آخر . كما وأنه تستعمل للأقطار قضبان مستديرة تلف دون أن تقطع كما في (شكل ٦ ـ ١٤) ؛ وسعر هذه القضبان أقل من سعر المقاطع فهي بذلك تحقق وفراً في التكلفة إضافة إلى قلة العمالة المطلوبة . وفي هذه الحالة يؤخذ طول التحنيب للأقطار $0.7\,L$.



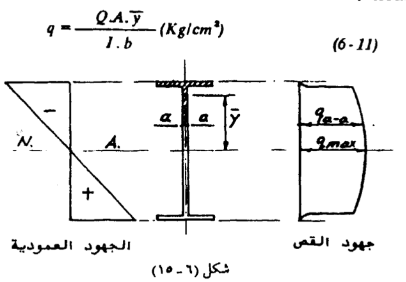
شكل (٦ ـ ١٤)

على أنه يشيع استعمال الطراز الشبكي للكمرات ذات البحور الطويلة والأحمال الخفيفة مثل مدادات السطح .

تحقيق جهد القص : *(Check for shear Stress)*

يبدأ اختيار مقطع كمرة لكي يقاوم عزم الحني الأقصى الذي تتعرض له بحيث تكون الجهود العمودية في الألياف الطرفية من مقطع الكمرة لا تجاوز الجهد المسموح به (f_{bt}) ولما كانت الكمرات تتعرض في الوقت نفسه لقوى قص تحدث جهوداً في مستوى المقطع فإنه يجب التحقق من أن جهد القص الفعلي في المقطع الذي يحمل أكبر قوة قص ، لا يجاوز الجهد المسموح به في جذوع الكمرات والذي يساوي $0.6\,f_{bt}$ ولحساب جهد القص في مقطع تستخدم المعادلة :

$$q = \frac{Q.A.\bar{y}}{I.b}\ (Kg/cm^2) \qquad (6-11)$$



شكل (٦ ـ ١٥)

وفيها :

Q = قوة القص عند المقطع Kg .

A = مساحة الجزء من المقطع الذي يعلو القطاع الذي يحسب عنده جهد القص (cm^2)

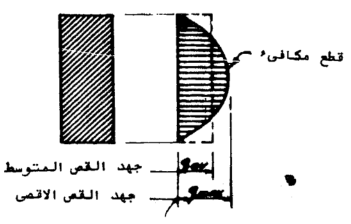
$\bar{y}$ = بعـد مركز المساحـة المذكورة عن القطاع $a - a$ (cm)

I = عزم عطالة المقطع بأكمله (cm^4)

b = عرض المقطع عند القطاع a-a (cm)

ويتضح من توزيع الجهود في المقطع أن الجذع يقاوم معظم قوة القص (٩٧ ٪ منها تقريباً) .

وإذا كان الجهد المتوسط في المقطع المستطيل يساوي $\frac{٢}{٣}$ الجهد الأقصى فإنه في المقطع I يصل إلى نحو ٩٠ ٪ . من هاتين الملاحظتين يمكن تحقيق جهود القـص بتقريب غير بعيد عن الصواب :



شكل (٦ - ١٦) جهود القص في مقطع مستطيل

أ ـ اعتبار أن الجذع يقاوم كل قوة القص .

ب ـ اعتبار أن الجهد المتوسط نحو ٩٠ ٪ من الجهد الأقصى .

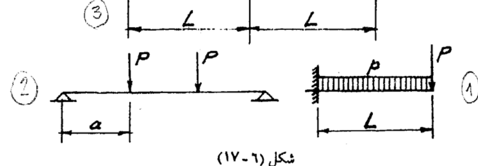
أي : (6 - 12) $q_{av} = \frac{Q}{h \cdot t} \ngtr 0.55 f_{pt}$

حيث : (h) هو ارتفاع الجذع و (t) سمكه .

تحقيق الجهود الرئيسية : *(Check for principal stresses)*

إذا تعرض مقطع في كمرة لعزم حني أقصى وصحبته قوة قص قصوى كما في الحالات التالية :

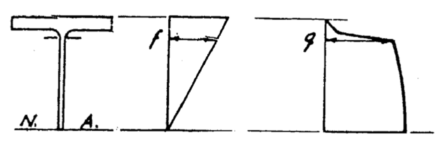
(1) $\left\{ \begin{array}{l} M_{max} = \dfrac{PL^2}{2} + PL \\ Q_{max} = PL + P \end{array} \right\}$ (2) $\left\{ \begin{array}{l} M_{max} = P.a \\ Q_{max} = P \end{array} \right\}$ (3) $\left\{ \begin{array}{l} M_{max} = \dfrac{PL^2}{8} \\ Q_{max} = \dfrac{5}{8} PL \end{array} \right\}$



شكل (٦ - ١٧)

فإن ملتقى الجذع بالشفة تؤثر عليه جهود عمودية وجهود قص عالية شكل (٦ - ١٨) مما يقتضي معه مراجعة الجهود الرئيسية التي تحسب من المعادلة :

$$f_{1,2} = \frac{f}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{f}{2}\right)^2 + q^2} \qquad (6-13)$$



شكل (٦ - ١٨)

ويجب ألا يزيد الجهد الرئيسي على الجهد المسموح به في حالة الحني .

تحقيق الجهد المكافيء *(Comparative Stress)*

تتطلب المواصفات المصرية حساب الجهد المكافيء في المقطع إذا ما تعرض لجهد عمودي *(f)* وجهد قص *(q)* وذلك بحسب المعادلة :

$$f_e = \sqrt{f^2 + 3q^2} \qquad (6\text{-}14)$$

ويسمح في هذه الحالة برفع الجهد المسموح به في الحني بمقدار ١٠ ٪

التحنيب الجانبي لشفة الضغط

(Lateral buckling of the compression flange) :

رأينا كيف أن وتر الضغط في جمالون عُرضة للتحنيب عمودياً على مستوى الجمل ، وقد اصطلح على تسمية ذلك التحنيب « التحنيبُ العرضي » أو « التحنيب الجانبي » .

وقد أوضحنا أنه لمقاومة التحنيب في الجمالونات يلزم سند الوتر . فإذا كان الوتر محملاً أمكن اعتبار نقط التحميل مواقع سند ؛ وإلاّ وجب تدبير أربطة لسند الوتر في مواقع مختارة ، كما يحدث عند سند الوتر السفلي لكابولي . والجمالون حالة خاصة من الكمرة ، وإن كانت الكمرات لا تظهر فيها تلك الظاهرة فذلك نظراً لأنها تكون عادة محملة ومسنودة بكامل طولها .

فإذا كانت الكمرة غير مسنودة جانبياً فإن شفة الضغط تكون عرضة للتحنيب الجانبي فيما بين النقط التي تسند فيها تلك الشفة عمودياً على مستوى الكمرة . وتؤثر العوامل التالية على مقدرة شفة الضغط لكمرة على مقاومة التحنيب الجانبي :

أ ـ الطول فيما بين نقط سند الشفة .

ب ـ عمق الكمرة

ويزداد بزيادتها احتمال التحنيب .

حـ ـ عرض الشفة .

د ـ سمك الشفة .

ويقل بزيادتها احتمال التحنيب .

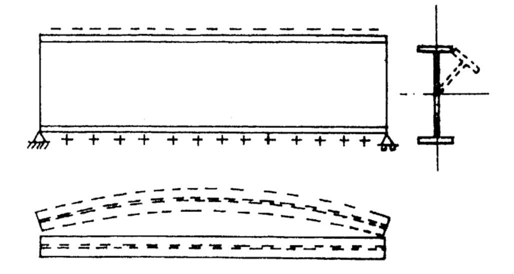
وبذلك تتناسبَ جهد الحني لكمرة تناسياً عكسياً مع المقدار $\frac{Ld}{bt}$ وفيه :

L = الطول غير المسنود لشفة الضغط .

d = عمق الكمرة .

b = عرض شفة الضغط

t = سمك شفة الضغط



شكل (٦ - ١٩) - التحنيب الجانبي لشفة الضغط

وتنص مواصفات المعهد الأمريكي للإنشاء بالفولاذ على أنه إذا زادت قيمة المقدار $\frac{Ld}{bt}$ على 600 فإن الجهد المسموح به للحني :

$$f_{pb} = \frac{840\,000}{\frac{Ld}{bt}} \; Kg/cm^2 \quad (A) \qquad (6-15)$$

كما تنص تلك المواصفات على مراجعة حساب الجهد المسموح به للحني تبعاً لقيمة $\frac{L}{r_f}$ (حيث r_f نصف قطر عطالة الشفة المكونة من ألواح الشفة و $\frac{1}{3}$ عمق جذع الكمرة) وذلك من واقع إحدى المعادلات الآتية (للفولاذ ٣٧) .

$$\frac{L}{r_f} < 60 \qquad f_{pb} = 1400$$

$$\frac{L}{r_f} = 60 - 120 \qquad f_{pb} = 1600 - 0.056\left(\frac{L}{r_f}\right)^2 \qquad (6-16)$$

$$\frac{L}{r_f} > 120 \qquad f_{pb} = \frac{11500\,000}{\left(\frac{L}{r_f}\right)^2}$$

على أن تعتبر القيمة الأكبر من (6-15) و (6-16)

وتعطى مواصفات جمعية مهندسي سكة الحديد الأمريكية معادلتين مشابهتين ، على أن تعتبر القيمة الأكبر ، إلا أنهما تعطيان قيمة للجهد المسموح به للحني أقل من سابقتيهما :

$$f_{pb} = \frac{740\,000}{\frac{Ld}{bt}} \; kg/cm^2$$

$$(6-17)$$

$$f_{pb} = 1400 - .03\left(\frac{L}{r_y}\right)^2 \; kg/cm^2$$

كما تشترط تلك المواصفات ألا تزيد قيمة $\frac{L}{r_y}$ للكمرة على 160 وفيها r_y نصف قطر عطالة جزء الكمرة تحت الضغط .

هذا ويمكن استخدام المعادلات الثلاث (6-15) إلى (6-17) فيما لو كانت شفتا الضغط والشد غير متماثلتين ، وعندئذ تؤخذ مقاسات شفة الضغط عند حساب جهد الحني المسموح به .

مثال (٦ ـ ٤) ـ كمرة بحرها ٦,٠٠ أمتار تحمل ٣,٠ طن في منتصفها والمطلوب اختيار مقطع I : أ ـ عادي ، ب ـ عريض الشفة ، عندما تكون الكمرة غير مسنودة .

جهد الحني المسموح به :

عندما : $f_{pb} = f_{pt} \quad \frac{L.d}{b.t} \leq 600$

وعندما $\frac{L.d}{b.t} > 600$: $f_{pb} = \frac{840,000}{\frac{L.d}{b.t}}$

$$M = \frac{3.000 \times 6.00}{4} = 4.50 \ tm$$

$$Z_{req} = \frac{450\ 000}{1400} = 321 \ cm^3$$

أولاً : مقطع B.F.I.

Try B.F.I. N° 180

$Z_x = 426 \ cm^3$, $d = 18.0 \ cm$, $b = 18.0 \ cm$, $t = 1.40 \ cm$

$$\frac{Ld}{bt} = \frac{600 \times 18}{18 \times 1.4} = 429 < 600$$

$$f_{pb} = 1400 \ Kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{450\ 000}{426} = 1056 \ Kg/cm^2 \qquad (O.K.)$$

ثانياً : مقطع $S.I.B.$

Try S.I.B. N° 240 :

$Z_x = 354\ cm^3$, $d = 24.0\ cm$ $b = 10.6\ cm$, $t = 1.3\ cm$

$$\frac{L.d}{b.t} = \frac{600 \times 24}{10.6 \times 1.31} = 1037 > 600$$

$$f_{pb} = \frac{840\,000}{1037} = 810\ Kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{450\,000}{354} = 1271\ Kg/cm^2 \quad (N.G.)$$

Try S.I.B. N°. 280:

$Z_x = 542\ cm^3$ $d = 28.0\ cm$ $b = 11.9\ cm$, $t = 1.52\ cm$

$$\frac{L.d}{b.t} = \frac{600 \times 28}{11.9 \times 1.52} = 929$$

$$f_{pb} = \frac{840\,000}{929} = 904\ Kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{450\,000}{542} = 830\ Kg/cm^2 \quad (O.K.)$$

إذا سندت هذه الكمرة جانبياً في منتصفها :

$$\frac{L.d}{b.t} = \frac{300 \times 24}{10.6 \times 1.31} = 519 < 600$$

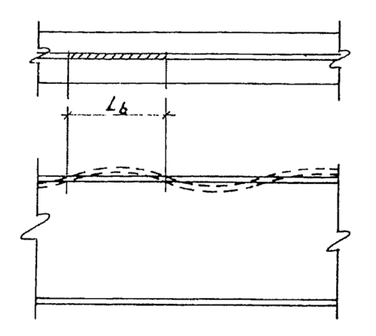
$f_{pb} = 1400\ Kg/cm^2$

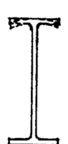
For S.I.B No 240 :

$f_{act} = 1271\ Kg/cm$ (O . K.)

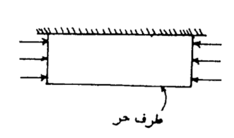
التحنيب الموضعي لشفة الضغط :

(Local buckling of the compression flange)





شكل (٦ - ٢٠) التحنيب الموضعي لشفة الضغط



يتعرض الجزء الممتد من شفة الضغط لحدوث تحنيب ، يظهر على هيئة تموجات في الاتجاه الطولي للكمرة .ويمكن تشبيه جزء من لوح الشفة طوله يساوي موجة التحنيب بلوح ممسوك في أحد حرفيه الطويلين وحرّ في جانبه المقابل ومسنود في جانبيه القصيرين ومعرض عندهما لجهود ضغط منتظمة .

وتنص المواصفات المصرية على ما يلي :

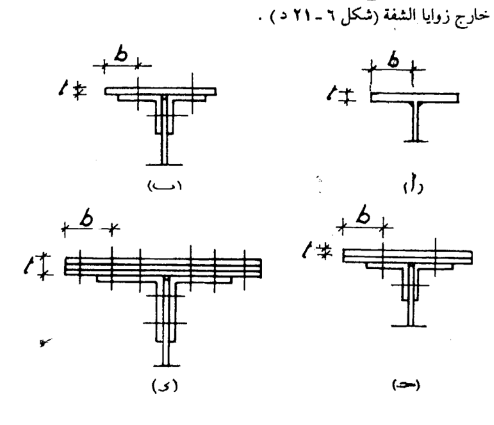
في الكمرات الملحومة . . . $b \not> 12t$ (شكل ٦ ـ ٢١ أ)

في الكمرات المبرشمة . . . $b \not> 16t$ للصلب العادي

$b \not> 14t$ للصلب عالي المقاومة

حيث t هو سمك أرفع لوح ظاهر بالشفة (شكل ٦ ـ ٢١ ب ، حـ)

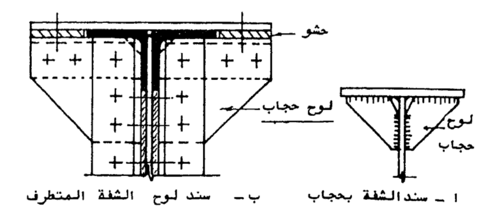
أو مجموع أسماك ألواح الشفة إذا ربطت بعضها ببعض ربطاً كافياً خارج زوايا الشفة (شكل ٦ ـ ٢١ د) .



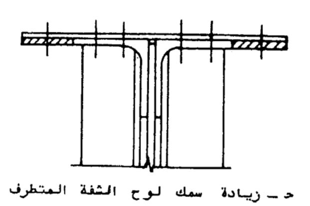
شكل (٦ - ٢١)

هذا مع مراعاة ألا تزيد المسافة الطرفية للمسامير على $3d$.

ويمكن سند لوح الشفة باستعمال الواح « حجاب » (شكل ٦ - ٢٢ أ و ب) . كما يمكن إضافة خوصة لزيادة سمك اللوح المتطرف ولا سيما عندما يكون منفرداً (شكل ٦ - ٢٢ حـ) .



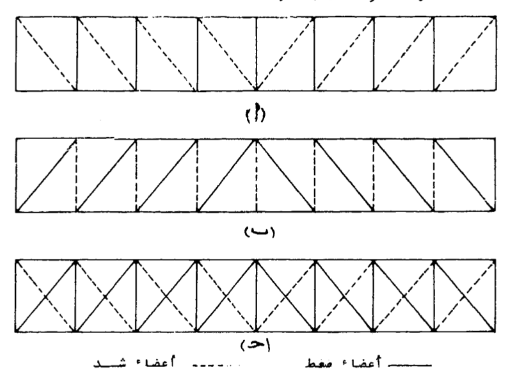
ا - سند الشفة بحجاب   ب - سند لوح الشفة المتطرف


حـ - زيادة سمك لوح الشفة المتطرف

شكل (٦ - ٢٢)

التحنيب العرضي للجذع : *(Lateral buckling of web)*

سبق أن تحدثنا عن تحقيق جهد القص في جذع الكمرة . ولكن دراسة الجهود في الجذوع أوضحت أن مقاطع الجذع تتعرض لجهود أخرى ، ربما كانت مقارنة الكمرة العادية بالكمرة الشبكية أو الجمالون كفيلة بإيضاحها .

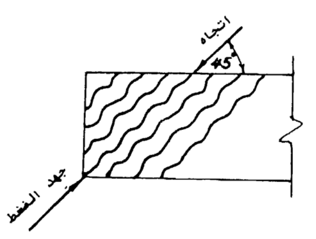


شكل (٦ - ٢٣) ــ القوى في أعضاء الجذع في الكمرة الشبكية

فالأقطار في شكل ٦ ـ ٢٣أ معرضة لشد وفي (ب) معرضة لضغط فإذا اجتمع كلا نظامي الأقطار كما في (حـ) فإن الأقطار التي تميل كما في (أ) تكون معرضة لشد وتلك التي تميل كما في (ب) تكون معرضة لضغط . ولكن القوى في الأقطار في (حـ) نصف القوى في الأقطار المناظرة لها في (أ) و (ب) .

كما يلاحظ أن القوائم في (أ) معرضة لضغط وفي (ب) معرضة لشد ولكن في (حـ) تكون معرضة لضغط وإن كانت القوى في تلك الأخيرة

صغيرة . والكمرة الشبكية في شكل (حـ) غير محددة (مقررة) استاتيكيا ثماني مرات وهذا يعني أنه إذا فرض وانهارت أقطار الضغط الثمانية لم يحدث انهيار للكمرة ، إذا ما كانت أقطار الشد قادرة على مقاومة قوة القص في البانوهات التي تحويها . وعلى هذا فإن جذع الكمرة العادية يتعرض لجهود ضغط في اتجاه اقطار الضغط وفي اتجاه القوائم ، وإن كانت الجهود في اتجاه الأقطار أكبر بكثير . وتشبيهاً للكمرة I بالكمرة الشبكية فإن جذع الكمرة I يتعرض للتحنيب في اتجاه اقطار الضغط ، ولما كان الجذع مكوناً من عدد لانهائي من الأقطار فإنه يكون عرضة للتحنيب على شكل موجات في اتجاه جهود الضغط كما هو موضح في شكل (٦ - ٢٤) .



شكل (٦ - ٢٤) – انبعاج الجذع بتأثير جهود الضغط القطرى

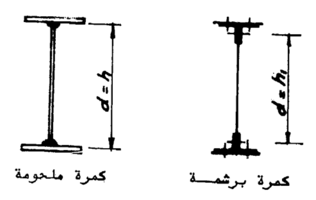
ويزداد احتمال التحنيب كلما ازدادت مساحة لوح الجذع ، ويقاوم سمك اللوح ذلك التحنيب . وهذا يعني أنه كلما ازداد عمق الكمرة كلما تطلب ذلك زيادة في سمك لوح الجذع ، بغض النظر عن تحمل اللوح لجهود القص .

وتتطلب المواصفات المصرية ألا يقل سمك لوح الجذع في الكمرات عن القيم الآتية بالنسبة لعمق لوح الجذع (d) :

للفولاذ العادي — $t \nless \frac{d}{85}$

للفولاذ عالي المقاومة — $t \nless \frac{d}{75}$

والملاحظ أن هذه النسب محققة في الكمرات الجاهزة (الملفنة) . أما الكمرات المبنية فيجب مراعاة هذه النسب مع ملاحظة أن العمق يكون ارتفاع الجذع في الكمرات الملحومة ويكون المسافة بين مراكز صفوف البراشيم في شفتي الكمرة المبرشمة .



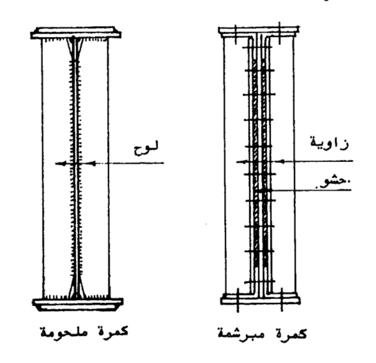
شكل (٦ ـ ٢٥)

هذا وإذا لم يتحقق شرط السمك المذكور في كمرة مبنية لزم سند الجذع جانبياً بمساند تسمى بالكزازات ، وهي تناظر القوائم في الكمرات الشبكية ، فهي عبارة عن ألواح تلحم بالجذع أو زوايا تبرشم فيه ،وتحسب كأعمدة ذات طول تحنيب : $L_b = 0.8\,h$

أما القوى التي تحسب عليها الكزازات فهي كما يلي :

الكزازة عند الكرسي : تحسب على رد الفعل الكلي للكمرة .

الكزازة المتوسطة : تحسب على حمل يساوي $\frac{٢}{٣}$ قوة القص في موقعها .

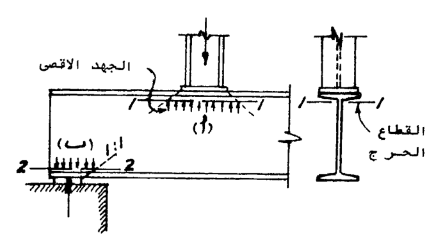


شكل (٦ ـ ٢٦)

وتكون الكزازة عند الكرسي متماثلة بالنسبة للجذع ولا يشترط ذلك في الكزازات المتوسطة .

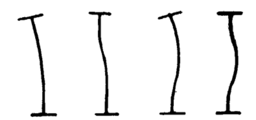
التحنيب الرأسي للجذع :

إذا حمّلت كمرة فوق شفة الضغط بحمل مركز في مستوى الجذع فإنه يُحدث في لوح الجذع جهودا عمودية في الاتجاه الرأسي (شكل ٦ ـ ٢٧) .



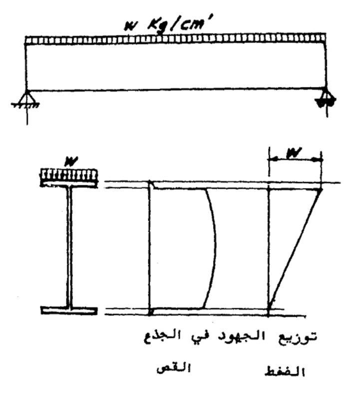
شكل (٦ ـ ٢٧) ضغط التحميل في الجذع

وتبدأ الجهود مركزة ثم تأخذ في التناقص كلما بعدنا عن مصدر الحمل حتى يتلاشى الضغط عند الشفة الأخرى وبمعنى آخر، فإن الحمل ينتشر في عرض أكبر من لوح الجذع ولكن الجهد الأكبر يكون عند انتهاء استدارة الجذع مع الشفة . وفي شكل (٦ - ٢٧) يكون المقطع ١ ـ ١ عند الحمل الخارجي المركز والمقطع ٢ ـ ٢ عند الحمل المنقول (رد الفعل) المركز . ويتوقف الشكل الذي يأخذه لوح الجذع عند حدوث التحنيب ، كما يتوقف الجهد الحرج الذي يحدث عنده التحنيب ، على طريقة سند الشفتين جانبياً عند موقع الحمل . كما يؤثر في ذلك الجهد طبيعة الحمل : إذا كان مركزاً أو موزعاً . (شكل ٦ ـ ٢٨) .



شكل (٦ ـ ٢٨) احتمالات تحنيب لوح الجذع

ويكون جهد الضغط الناشيء عن حمل موزع بانتظام مساوياً لقيمة الحمل عند الشفة وينتهي إلى الصفر عند الشفة الأخرى (شكل ٦ ـ ٢٩) . وقد أوضحت الدراسات أن عضو الضغط الذي يحمل حملاً موزعاً بانتظام بكامل طوله يقاوم حملاً حرجاً يساوي ضعف الحمل الذي يقاومه لو أن الحمل كان مركزاً بأكمله . فكذلك الجذع يستطيع مقاومة حمل من أعلاه ضعف الحمل الذي يضغطه عند كلتي الشفتين .



(شكل ٦ ـ ٢٩)

والجهد الحرج لجذع محمل عند كلتي الشفتين :

$$f_{cr.} = \frac{\pi^2 E}{12(1 - m^2)} \left(\frac{t}{d}\right)^2 \quad (m = Poisson's\ Ratio)$$

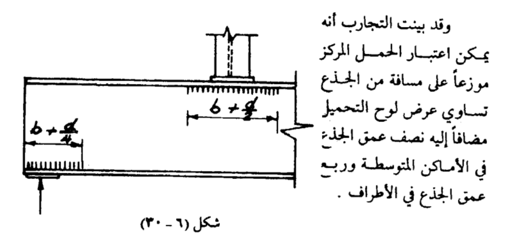
$$= 1900 \left(\frac{t}{d}\right)^2 t/cm^2 \qquad (6\text{–}18)$$

أما إذا كان الجذع محملاً بانتظام من أعلاه فقط فإن الجهد الحرج يتضاعف أي :

$$f_{cr} = 3800 \left(\frac{t}{d}\right)^2 t/cm^2 \qquad (6-19)$$

ويستخدم معامل أمان مناسب (نحو ٣) للحصول على الجهد المسموح به . أما توزيع الجهد الناشيء عن الحمل المركز في جذع الكمرة فيتوقف على عمق الكمرة ويتناسب مع ذلك العمق منتشراً على امتداد الجذع في مسافة تساوي العمق ويبلغ أقصاه عند أول الجذع ويتلاشى عند نهاية الجذع .

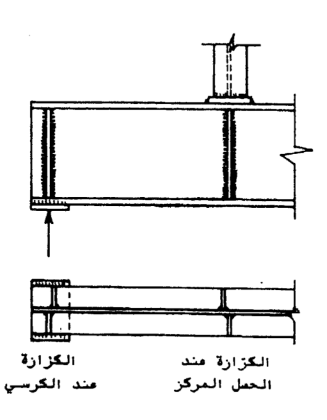
وقد بينت التجارب أنه يمكن اعتبار الحمل المركز موزعاً على مسافة من الجذع تساوي عرض لوح التحميل مضافاً إليه نصف عمق الجذع في الأماكن المتوسطة وربع عمق الجذع في الأطراف .



شكل (٦ - ٣٠)

وعندئذٍ تطبق عليه معادلات التحنيب المذكورة في الفقرة السابقة .

ويلاحظ أن تعرض الجذع لجهود عمودية ناشئة عن عزم حني يقلل من الجهد الحرج للتحنيب وإن كانت المواصفات لا تقرر شيئاً في هذا الشأن على اعتبار أنه من المستحب في الكمرات المدلفنة ومن اللازم في الكمرات المبنية أن يزود الجذع بكزازات عند مواقع الأحمال المركزة علاوة على تلك عند الركيزة .



شكل (٦ - ٣١)

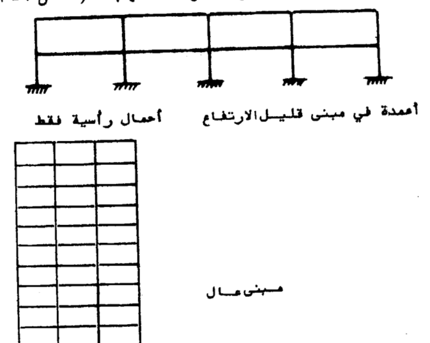
الفصل السابع

الأعمدة

Columns

العمود هو ذلك الجزء من المنشأ الذي تنتقل إليه الأحمال والقوى التي تؤثر على ذلك المنشأ لينقلها بدوره إلى الأساس (أو إلى عضو آخر) .

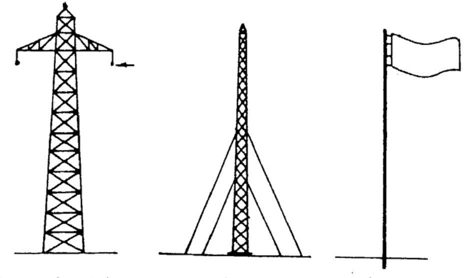
والعمود ـ عادة ـ عضو رأسي تتصل به أو ترتكز عليه كمرات الأسقف أو عمود من طابق آخر (شكل ٧ ـ ١) . وقد يتصل بالعمود كابولي أو أكثر (شكل ٧ ـ ٢) . كما قد يكون العمود منشأ قائما بذاته (شـكل ٧ ـ ٣) .



شكل (٧ ـ ١)



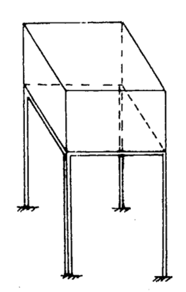
شكل (٧ ـ ٢) ـ أعمدة المظلات
معرضة لقوة رأسية وعزم حني

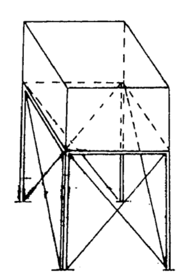


سارية علم — عزم حني (أساسي)
هوائي تلفزيون — عزم حني (أساسي)
برج نقل قوى كهربائية — قوة رأسية وعزم حني وعزم ليّ

شكل (٧ ـ ٣) ـ أعمدة خاصة

والعمود عضو ضغط ، وقد يتعرض لقوى شد في حالات خاصة ، ولكنه يتعرض في معظم الحالات ـ بالإضافة إلى الأحمال العمودية ـ لعزم حني مفرد أو لعزم حني مزدوج (شكل ٧ ـ ٤) أو لعزم ليّ .

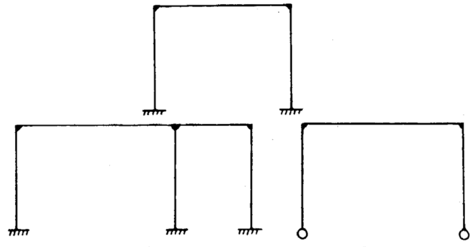




أعمدة تحمل قوة رأسيــة   أعمدة معرضة لعزم حني في اتجاهيــن

شكل (٧ ـ ٤) أعمدة الصهاريج

وتنشأ تلك العزوم إما عن عدم تمركز الحمل أو الأحمال العمودية ، وإما عن قوة أو قوى مستعرضة بالنسبة لمحوره ، وإما عن اتصال جسيء فيما بين الكمرة والعمود كما هو الشأن في الإطارات (شكل ٧ ـ ٥) .



شكل (٧ ـ ٥)ــ أعمدة إطارات معرضة لقوة رأسية وعزوم حني

اختيار المقطع (*Choice of Section*)

مقدمة :

يتوقف اختيار مقطع عمود على العوامل التالية :

أولا ـ ماهية مسببات الجهد وقيمتها ونسبة أحد تلك المسببات إلى الآخر . ويمكن أن يتعرض العمود لواحد أو أكثر من المسببات الآتية :

أ ـ حمل عمودي أو عدة أحمال عمودية مركزية (أو يفترض أنها مركزية).
ب ـ حمل عمودي أو عدة أحمال ولكنها لا مركزية .
حـ ـ عزم حني مفرد أو مزدوج ناشيء عن أيٍّ مما يلي :

ـ قوة أو عدة قوى أفقية ، مركزة أو موزعة .

ـ حمل على كابولي .

ـ أن يكون العمود جزءا من إطار جسيء الوصلات .

د ـ عزم ليّ ناشيء عن قوة أفقية لا تمر بمركز العمود .

ثانيا ـ طول التحنيب في كل من المستويين اللذين يمران بالمحورين الرئيسيين لمقطع العمود . هذا ويتوقف طول التحنيب في اتجاه ما على ظروف نهايتي العمود بالنسبة لذلك الاتجاه ويتوقف كذلك على إمكان سند العمود جانبيا في أيٍّ من المستويين .

ثالثا ـ تكوين المقطع ، فقد يكون المقطع :

ـ عبارة عن عنصر واحد (المقطع الجاهز أو المدلفن) .

ـ مكونا من عدة عناصر تربط معا (المقطع المبني) ،
وعندئذ يتأثر المقطع بالطريقة التي تربط بها عناصر العمود .

رابعا ـ الحيّز الذي يمكن أن يشغله العمود ، أي اتساع مقطع العمود .

التحليل :

رغم تعدد العوامل التي أوضحنا أنها تؤثر في اختيار مقطع العمود فإنه لا يمكن فصلها بعضها عن بعض بل يقتضي التصميم أخذها جميعا في الاعتبار .

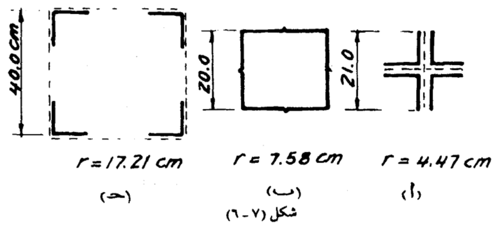
ولما كان العمود ـ عادة ـ عضو ضغط فإن الجهد المسموح به على مقطعه « f_{ob} » يتوقف على نسبة نحافة العمود « $\frac{L_b}{r}$ » الأكبر حول أيٍّ من محوريْ مقطعه ، وهذه بدورها مكونة من عنصرين :

ـ طول التحنيب L_b وهو يتوقف على وضع العمود في المنشأ وعلى ظروف نهايتيه ثم على النقط التي يستند فيها العمود أو يمكن سنده فيها ـ ويجب تحديد ذلك الطول في كل من مستويي المحورين الرئيسيين لمقطع العمود .

Radius of gyration

ـ نصف قطر عطالة المقطع « r » حول كل من محوري المقطع الرئيسيين . ولا تتوقف قيمة r على مساحة المقطع بقدر ما تتوقف على شكل المقطع وعلى توزيع أجزائه (عناصره) بالنسبة للمحورين الرئيسيين للمقطع وعلى الأخص تباعد تلك العناصر عن هذين المحورين .

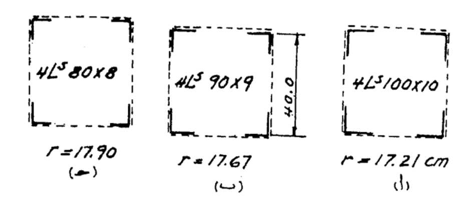
توضح المقاطع الثلاثة المبينة بشكل (٧ ـ ٦) . كيف تتأثر قيمة r بهذا التباعد .



شكل (٧ ـ ٦)

فكل من المقاطع الثلاثة مكون من $4 L^s\ 100 \times 100 \times 10$ وواضح كيف أن تباعد المادة عن المحورين قد رفع قيمة r من ٤,٧٧ سم إلى ١٧,٢١ سم . وتزداد قيمة r كلما زاد التباعد .

فإذا احتفظنا بالاتساع ٤٠ سم وتغيرت الزوايا الأربع نجد أن r للزوايا الصغيرة أكبر منها للزوايا الكبيرة . ويرجع هذا إلى تباعد مادة الزوايا الصغيرة عن مركز المقطع .



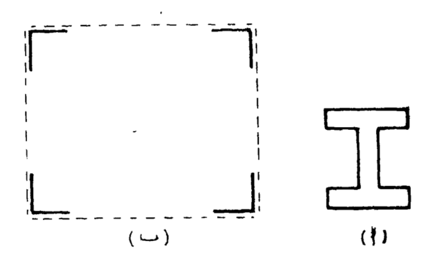
شكل (٧ - ٧)

وهذه الزيادة وإن تكن طفيفة ، إلا أنها تفيد التصميم في إمكان تنحية r جانبا (بصفة مؤقتة) واختيار المساحة اللازمة . فإذا عُلمت نسبة تقريبية بين اتساع المقطع ونصف قطر العطالة كان ذلك عاملا مساعدا في التصميم .

فإذا ما تعرض العمود لعزم حني ، كان العامل المهم هو معاير المقطع « Z » وهذا بدوره يتأثر بعمق المقطع وبتباعد مادته عن المحور الذي يؤثر حوله عزم الحني ، حيث أن معاير المقطع يساوي مساحةً مضروبة في مسافة ، وبذلك يكون لكلا المقدارين تأثير على قيمة « Z » .

مما تقدم يتضح أن لاتساع العمود تأثيرا على المساحة المطلوبة لمقطعه سواء أكان العمود معرضا لحمل عمودي أم لعزم حني ، أم لحمل عمودي مصحوب بعزم حني .

إلا أن زيادة ابعاد المقطع ، ولا سيما المقطع المبني ، ليست دون حدود ، اذ يجب أن يؤخذ في الاعتبار الحيز الذي سوف يشغله العمود من المنشأ ، فإذا كان الحيز محدوداً لزمت التضحية ببعض المادة . فمثلا المقطع (أ) شكل (٧ - ٨) المحدود المقاس وذو الأسماك الكبيرة يستخدم في أعمدة المباني العالية ، بينما المقطع (ب) يستخدم لأعمدة المصانع والمخازن ونحوها .



شكل (٧ - ٨)

وبمقارنة مقطع جاهز لعمود بمقطع مبني نجد أن المقطع المبني أخف وزنا ، إلا أن جزءا من الوفر في التكاليف يضيع للأسباب التالية :

١ - الجهد المسموح به للمقطع المبني أقل من الجهد المسموح به للمقطع الجاهز،وذلك يقتضي زيادة في المادة .

٢ - إنه يجب ربط عناصر العمود المبني بشرائط أو ألواح حتى تعمل معا في مقاومة مسببات الجهد ، كما يلزم تحديد طول التحنيب للعنصر المنفرد . ويزداد طول الأربطة كما يكبر مقطعها كلما اتسع العمود . ويتأثر الجهد المسموح به في العمود المبني بطريقة الربط . فهو في العمود المربوط بشرائط أكبر منه في العمود المربوط بألواح .

٣ ـ العمود المبني أكثر تكلفة في العمالة .

إلا أننا كثيرا ما نلجأ لاستعمال المقاطع المبنية بسبب عدم توافر المقاطع الجاهزة بالسوق .

المقاطع المستعملة في الأعمدة

فيما يلي المقاطع المختلفة المستعملة في الأعمدة مع بيان قيم تقريبية لأنصاف أقطار المطالة حيث أن تلك القيم ضرورية للتصميم واختيار المقطع الملائم .

أولا ـ المقاطع الجاهزة :

وهي المقاطع المدلفنة التي تستعمل كما هي دون تغيير في مقاساتها .

r=0.43h
h=300 حتى
r=0.25b
r= 7.0 cm
B.F.I.

r=0.39h
r (غير محدد)
Channel

r=0.4h
r=0.21b
S.I.B.

الزاوية والزاويتان سبق بيان خصائصها بوصفها اعضاء ضغط
شكل (٧ ـ ٩)

ثانيا ـ المقاطع المبنية :

وهذه المقاطع يكوّنها المصمم من مقاطع مدلفنة لتأخذ المقاسات أو الأشكال التي تلائم التصميم :

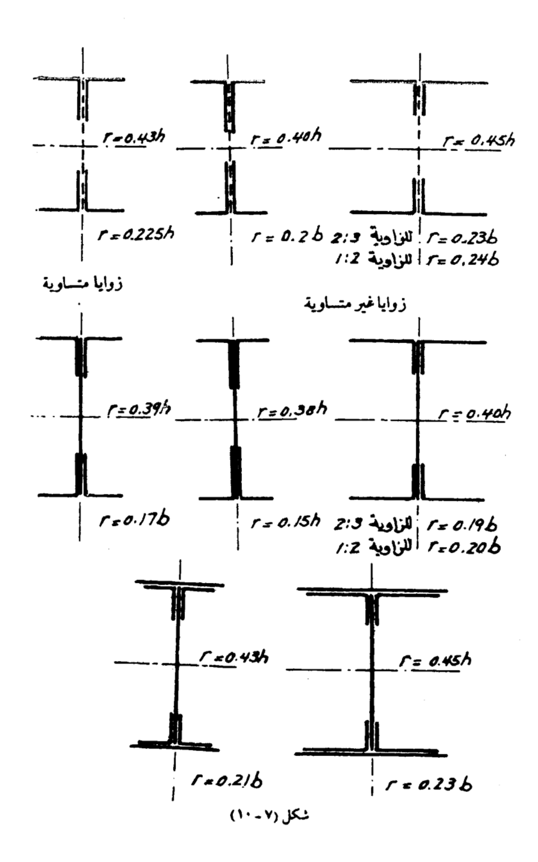
أ ـ مقاطع على شكل I ، وتأخذ أحد الأشكال الآتية :

ـ ٤ زوايا ، متساوية أو غير متساوية ، وقد تكون الزوايا منفصلة أي مربوطة بشرائط أو ألواح رباط ، وقد تكون متصلة أي مربوطة بلوح جذع مستمر . وقد يضاف إلى المقطع لوح أو أكثر عند كل شفة (شكل ٧ ـ ١٠) .

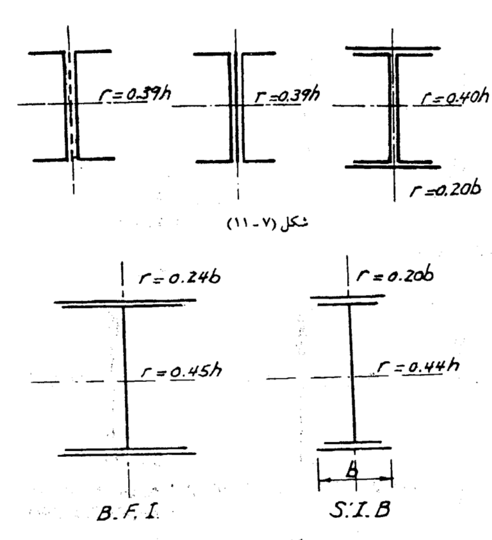
ملحوظة : في جميع الحالات : h هو ارتفاع أو عمق المقطع و b هو عرضه .

ـ كمرتان مجرة متظاهرتان مع ألواح على الجذع أو ألواح على الشفتين (شكل ٧ ـ ١١) .

ـ كمرة I، عادية أو عريضة الشفة ، مع لوح أو أكثر عند كل شفة (شكل ٧ ـ ١٢) .


r=0.43h
r= 0.40h
r= 0.45h
r=0.225h
r= 0.2 b
2:3 للزاوية
r= 0.23b
1:2 للزاوية
r= 0.24b
زوايا متساوية
زوايا غير متساوية
r=0.39h
r=0.38h
r= 0.40h
r=0.17b
r= 0.15h
2:3 للزاوية
r= 0.19b
1:2 للزاوية
r=0.20b
r=0.43h
r= 0.45h
r=0.21b
r= 0.23 b

شكل (٧ - ١٠)

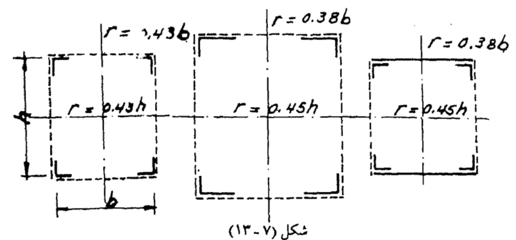


شكل (٧ ـ ١١)

شكل (٧ ـ ١٢)

ب ـ المقاطع الصندوقية ـ وتأخذ أحد الأشكال الآتية :

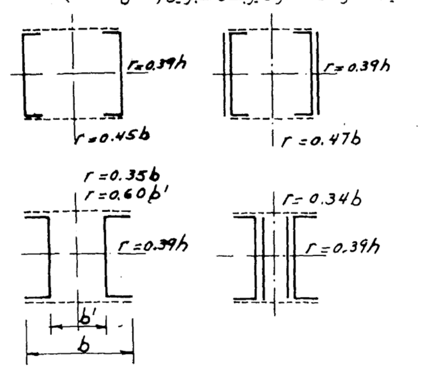
ـ ٤ زوايا متساوية أو غير متساوية ، وقد تكون منفصلة ، أي مربوطة بشرائط أو ألواح رباط ، وقد تكون متصلة أي مربوطة بألواح مستمرة سواء في اتجاه واحد أم في الاتجاهين ـ شكل (٧ ـ ١٣) .

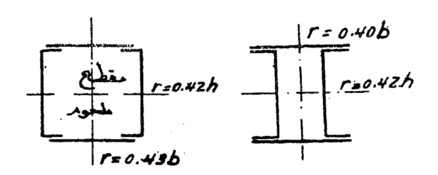


شكل (٧ - ١٣)

ولا يكون المقطع الصندوقي المكون من ٤ زوايا دائما مربعا ولكن اختيار مقاس كل من ضلعيه يتوقف على احتياجات التصميم فهو بذلك يمكن أن يكون أكثر المقاطع اقتصادا .

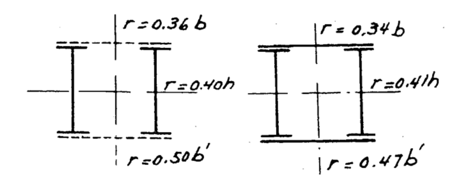
ـ مقطعان مجرة ، اما متظاهران أو متقابلان ، وقد يضاف إلى كل منهما لوح أو أكثر ملاصقاً للجذع وتربط المجرتان إما بشرائط وإما بألواح رباط ، كما قد يضاف لوحان مستمران يربطان المجرتين (شكل ٧ - ١٤) .

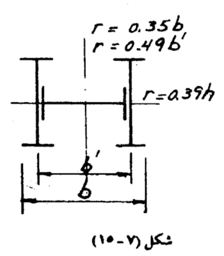




شكل (٧ - ١٤)

ـ مقطعان I، عادية أو عريضة الشفة ،مربوطان بشرائط أو بالـواح رباط ، كما قد يضاف لوحان مستمران على الشفاه .



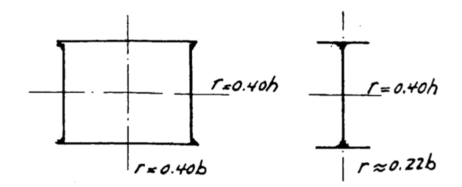


شكل (٧ - ١٥)

ثالثاً ـ المقاطع الملحومة :

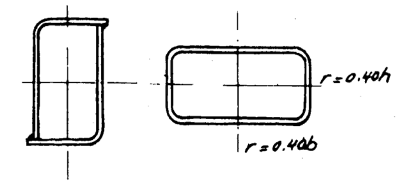
أيّ من المقاطع المبنية السابق بيانها يمكن أن توصل أجزاؤهـا بواسطـة اللحام ، إلا أن هناك مقاطع لا تكون إلا ملحومة وهي صنفان :

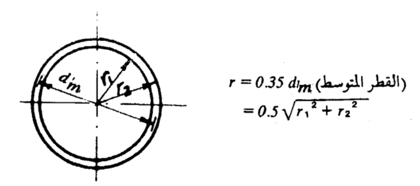
ـ مقاطع مبنية ، وتكون على شكل I أو تكون صندوقية (شكل ٧ ـ ١٦).



وتمتاز هذه المقاطع بأن للمصمم كل الحرية في اختيار مقاسات وأسماك الألواح التي تحقق مطالب التصميم . وبذلك قد تضاف ألواح أخرى على الشفتين وعلى جوانب الصندوق ، إلا أن المفضل ـ ما دام ذلك ممكناً ـ استخدام ألواح أكثر سماكة .

ـ المقاطع الأنبوبية ، وهي مقاطع جاهزة لا تستعمل إلا في المنشآت الملحومة ، والمقاطع الأنبوبية إما مستديرة وإما صندوقية (شكل ٧ ـ ١٦ أ ، ب) كما يمكن عمل مقطع أنبوبي عن طريق اللحام (شكل ٧ ـ ١٦ حـ) .

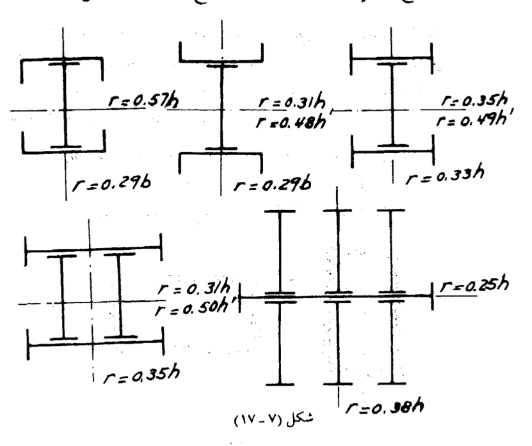




شكل (٧ – ١٦)

رابعاً ـ المقاطع المركبة :

وتتكون من عدة مقاطع جاهزة (شكل ٧ ـ ١٧) الغرض منهـا زيادة مساحة المقطع ، بالإضافة إلى زيادة جساءته ، مع قلة تكلفة التشغيل .



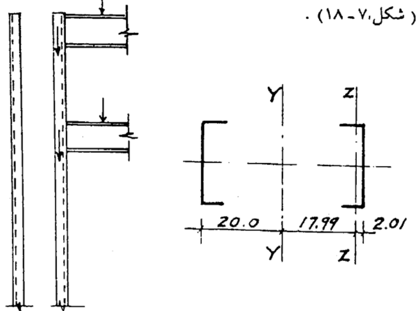
شكل (٧ ـ ١٧)

المقطع الجاهز مقابل المقطع المبني :

في الحالة البسيطة وهي حالة العمود المحمل محورياً نجد أن المعادلة التصميمية :

$$A_{req} = \frac{C}{f_{pb}} \qquad (7-1)$$

تحوي مجهولين هما المساحة المطلوبة A_{req} وجهد التحنيب المسموح به f_{pb}، وهذا يتوقف على نسبة نحافة المقطع، وهي بدورها تتوقف على نصف قطر العطالة للمقطع (r) وكلا المقدارين A و r من خصائص المقطع . ولكن هل يستوي في الاختيار المقطع الوحيد مع المقطع المكون من أجزاء منفصلة ؟ لقد سبق أن أشرنا إلى أن عضو الضغط المكون من عنصرين لا يتصلان بعضهما ببعض اتصالاً مستمراً عرضة لحدوث تحنيب موضعي لكل عنصر على حدة ، وكذلك الحال في العمود . إضافة الى ذلك فإن تحميل عمود تحميلاً جانبياً حالة كون عناصره منفصلة يجعل الحمل مؤثراً على بعض العناصر دون الأخرى (شكل ٧ - ١٨) .



شكل (٧ - ١٨)

والعناصر المنفصلة ، حتى لو وُزع الحمل بينها بالتساوي ، ليس لأي عنصر منها القدرة على مقاومة نصيبه من الحمل. حيث إن عزم العطالة للمقطع الكامل أكبر بكثير من عزم عطالة العنصر المنفرد ، وعندما يكون طول التحنيب في الحالين واحداً تكون نسبة النحافة للعمود بأكمله أصغر بكثير من نسبة النحافة للعنصر المنفرد كما يتضح من المثال التالي :

مثال (٧ - ١) - عمود طول التحنيب فيه $10.00\ m$ مقطعه مكون من مجرتين $2[200$ ، $(A = 2 \times 32.2\ cm^2)$ متواجهتين تتباعدان $40.0\ cm$ نجد أن :

نصف قطر عطالة المجرة المنفردة $r_z = 2.14\, cm$

نسبة النحافة : $\dfrac{L_z}{r_z} = \dfrac{1000}{2.14} = 467$

نصف قطر عطالة مقطع العمود : $r_Y = \sqrt{(2.14)^2 + (17.99)^2} = 18.0\ cm$

نسبة النحافة $\dfrac{L_Y}{r_Y} = 55.6$

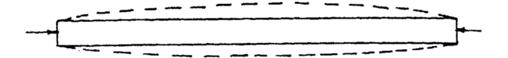
ويكون الجهد المسموح به للعنصر منفرداً $f_{pb} = 32\ Kg/cm^2$ ومقدرة العنصر $1030\ Kg$

والجهد المسموح به للعمود بأكمله $f_{pb} = 1115\ Kg/cm^2$ ومقدرة العنصر $33{,}200\ Kg$

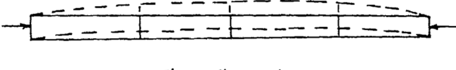
(بفرض ارتباط العنصرين بكامل طول العمود) .

أي أن مقدرة العنصر المنفرد لا تصل إلا لنحو ٣٪ من مقدرته عندما يعمل مع العنصر الآخر سوياً . هذا علاوة على أن نسبة نحافة العنصر المنفرد (467 في هذا المثال) غير مقبولة اطلاقاً .

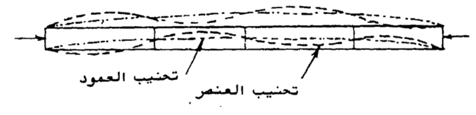
يلاحظ أنه بسبب التحنيب الموضعي للعنصر المنفرد الذي يرتبط مع الآخر أو العناصر الأخرى على مسافات معينة ، ترتفع نسبة النحافة للعمود وينخفض الجهد المسموح به تبعاً لذلك ، (شكل ٧ - ١٩) .



عناصر منفصلة

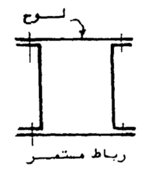


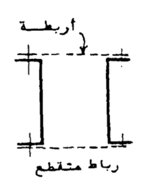
عناصر متصلة (مربوطة)



شكل (٧ ـ ١٩) التحنيب الموضعي للعناصر

وإذا ربطت عناصر العمود ربطاً مستمراً كان ذلك الرباط جزءاً من العمود ولم يعد العمود منفصلاً . (شكل ٧ ـ ٢٠) .





شكل (٧ ـ ٢٠)

وإنما تربط العناصر بعضها ببعض في نقط على مسافات متساوية (في الأغلب) وبذلك تعمل العناصر سوياً . ولكن هذا الرباط لا يمنع حدوث

تحنيب للعنصر فيما بين نقط الربط ، أي التحنيب الموضعي ، إضافةً إلى تحنيب العمود بأكمله .

وبذلك يكون العمود المكون من عناصر متعددة مربوطة أقل مقدرة على مقاومة الأحمال مما لو كانت العناصر متصلة بعضها ببعض اتصالاً مستمراً . ويمكن الإعراب عن ذلك في اختيار المقطع بتقليل جهد التحنيب المسموح به للعمود المكون من عناصر منفصلة مربوطة ، وهذا يعادل زيادة نسبة نحافته . كما تتوقف زيادة نسبة النحافة على الطريقة التي تربط بها العناصر فهي أكبر في حالة الربط بألواح منها في حالة الربط بالشرائط ، كما سيأتي تفصيله .

وسائل ربط عناصر العمود

١ ـ الشرائط *(Lacing bars)* :

الشريط عبارة عن عنصر محدود العرض يصل بين عنصري العمود ويكون عادة مائلاً على محوره بحيث تكوّن الأربطة نظاماً شبكياً . وهذا قد يكون نظام *(W)* دون قوائم أو نظام *(W)* ذا قوائم ، أو نظام *(X)* أي مجموعتان من طراز *(W)* متقاطعتان . شكل (٧ ـ ٢١) ويحدد اختيارَ النظام الطولُ الحر للعنصر Lz الذي يحقق شرط المواصفات .

٢ ـ ألواح التقوية *(Batten Plates)* :

وهي أربطة جسيئة تتعامد مع محور العمود ، ويتوفر لها من الطول ما يجعل وصلاتها بعناصر العمود جسيئة مما يجعلها ، عند مقاومتها لتحنيب العنصر ، عرضة لحدوث عزم حني فيها ناشيء عن عدم مقدرة العنصر على الدوران بحُرية عند موقع اللوح، فيحدث في العنصر عزم حني ينتقل بدوره إلى اللوح . ومن هنا يظهر الفرق بين الأشرطة وألواح الربط ، حيث أن وصلات الأشرطة تعتبر مفاصل فهي بالتالي لا تمنع العنصر من الدوران (شكل ٧ ـ ٢٢)

شريط الشد أن يقاوم كل قوة القص (شكل ٧ ـ ٣٠ د) وتكون :

$$S_D = + \frac{Q}{2 \sin \alpha} \qquad \text{شكل (د)} \qquad (7-7)$$

وهذا لا يعني الاستغناء عن شريط الضغط حيث إن القوى الأفقية تكون دائماً منعكسة فما كان من الأشرطة معرضاً لضغط يصبح معرضاً لشد ويتعرض شريط الشد لضغط فلا يعمل.

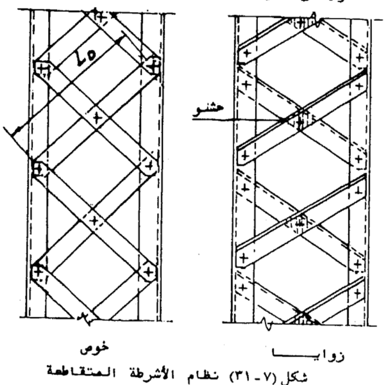
٢ ـ طول التحنيب :

يحسب طول التحنيب للشريط نسبة من طوله الحر أي من الطول بين نقط الربط:

ـ في النظام ذي المجموعتين المتقاطعتين من الأقطار ،(شكل ٧ ـ ٣١) :

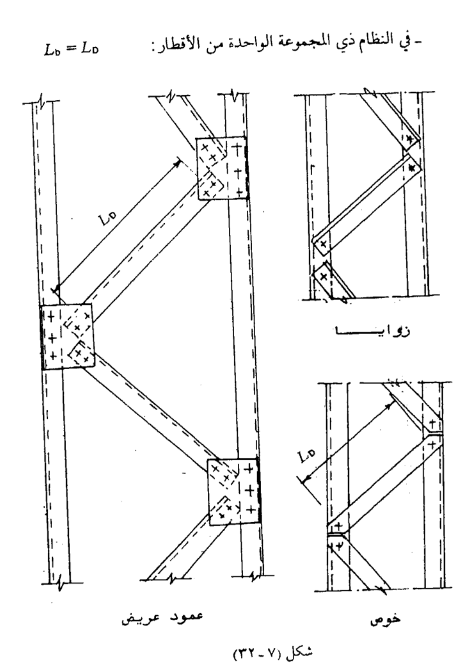
أ ـ في مستوى النظام: $L_b = 0.5 L_D$

اا ـ عمودياً على مستوى النظام $L_b = 0.75 L_D$



شكل (٧ ـ ٣١) نظام الأشرطة المتقاطعة

- في النظام ذي المجموعة الواحدة من الأقطار: $L_D = L_D$



شكل (٧ - ٣٢)

٣ - اختيار المقطع:

- يفضل ألا يتغير مقطع الشريط على طول العمود .
- يكون ميل الشريط على محور العمود:

على منحني التحنيب فيقلل من احتمال حدوثه . ولما كان اللوح عند النهاية هو الذي يتعرض لتشوه أكبر ، فمن هنا تظهر فاعليته في مقاومة التحنيب .

كما يتضح أن اللوح الذي في المنتصف تماماً يكون غير ذي فاعلية إذ لا يحدث به تشويه ، كما يتضح أنه كلما زاد طول اللوح زاد تأثيره .

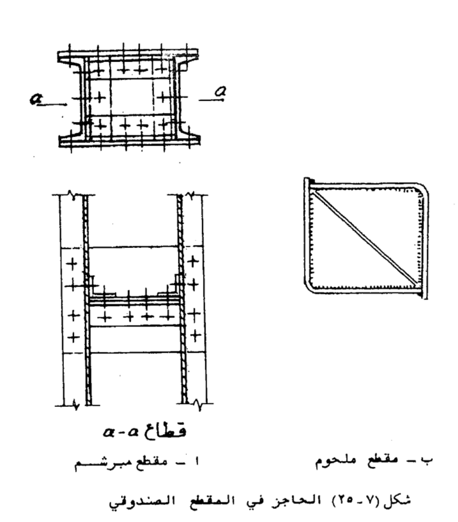
٢ ـ تجعل عناصر العضو تعمل معاً في مقاومة الأحمال والقوى التي تؤثر على العمود ، ولهذا وجب تزويد عضو الضغط بألواح تقوية عند كل من نهايتيه وكذلك عند النقط التي تؤثر فيها الأحمال والقوى .

٣ ـ ألواح التقوية عند النهايتين تمنع حدوث تشوهات في المقطع الصندوقي بسبب التحميل غير المتمركز.

والفقرتان الثانية والثالثة تبرزان السبب الذي من أجله يجب أن يزود عضو الضغط المربوط بشرائط ، بألواح تقوية عند نهايتيه ، وعند نقط تأثير الأحمال والقوى عليه .

الأحجبة *(Diaphragms)* ـ (تُنطق دَيافرام)

الحجاب هو لوح يربط عناصر المقطع الصندوقي لعضو الضغط بحيث يكون عمودياً على محور العضو ، ويوضع عند ألواح التقوية (شكل ٧ ـ ٢٥) والغرض منه حفظ الشكل الرّبع للصندوق وذلك عندما يُخشى من تعرض عضو الضغط لالتواء . ويكفي أن يزود عضو الضغط بحجابين من هذا القبيل .



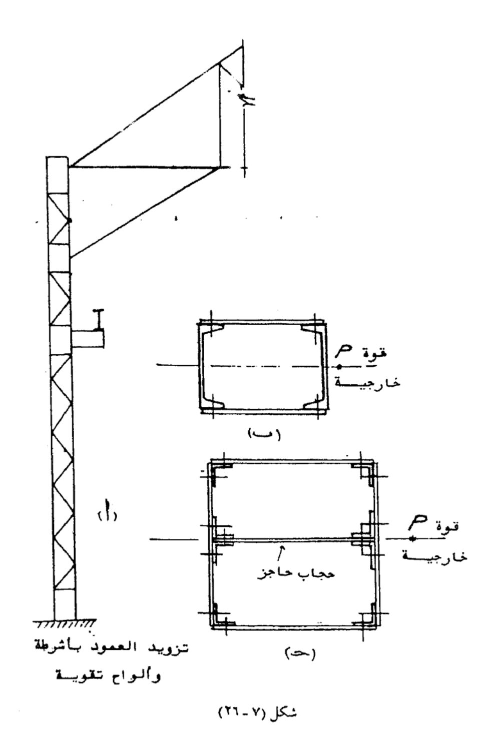
ا ـ مقطع مبرشـــم

ب ـ مقطع ملحوم

شكل (٧ ـ ٢٥) الحاجز في المقطع الصندوقي

وعلى هذا ، سواء أكانت العناصر مربوطة بألواح أم بأشرطة، فمن اللازم أن يزود العمود بألواح رباط عند كل من نهايتيه وكذلك عند جميع النقط التي يتعرض فيها العمود لمؤثرات خارجية سواء أكانت قوى عمودية أم قوى أفقية أم عزوم حني . وذلك ضماناً لاشتراك جميع عناصر العمود في مقاومة تلك المؤثرات (شكل ٧ ـ ٢٦) .

هذا وقد يقتضي الأمر إضافة حجاب جسيء في محور العمود يربط عنصريه و يربط لوحي تقوية ، ولا سيما عندما تكون القوة غير مركزية بدرجة كبيرة ينشأ عنها عزم حني كبير على العمود (شكل ٧ ـ ٢٦ حـ) .


قوة P
خارجية
(ب)
(أ)
قوة P
خارجية
حجاب حاجز
(حـ)
تزويد العمود بأشرطة
وألواح تقوية

شكل (٧ - ٢٦)

اللوائح الخاصة بربط العناصر

نظراً لما أشرنا إليه من تعرض العناصر المنفصلة للعمود لتحنيب موضعي حول محورها الضعيف عند ربط العناصر بأشرطة كما تتعرض العناصر إضافة لذلك التحنيب إلى عزوم حني موضعية عند ربطها بألواح تقوية ، فإن ذلك يستدعي تخفيض الجهد المسموح به للعمود المنفصل عما لو كانت العناصر متصلة اتصالاً مستمراً بكامل ارتفاع العمود.

ويعوض عن تخفيض الجهد المسموح به بأن ترفع قيمة نسبة النحافة . وتنص المواصفات المصرية على ما يلي:

- في العمود المكون من عدة عناصر شكل (٧ ـ ٢٧) ، يفصلها المحور y-y ، تعدل نسبة النحافة $\frac{L_y}{r_y}$ بحيث تستبدل بها قيم λ_y التالية :

١ ـ العمود المربوط بأشرطة :

$$\lambda_y = \sqrt{\left(\frac{L_y}{r_y}\right)^2 + \left(\frac{L_z}{r_z}\right)^2} \qquad (7\text{-}2)$$

٢ ـ للعمود المربوط بألواح تقوية :

$$\lambda_y = \sqrt{\left(\frac{L_y}{r_y}\right)^2 + \left(\frac{1{,}25\, L_z}{r_z}\right)^2} \qquad (7\text{-}3)$$

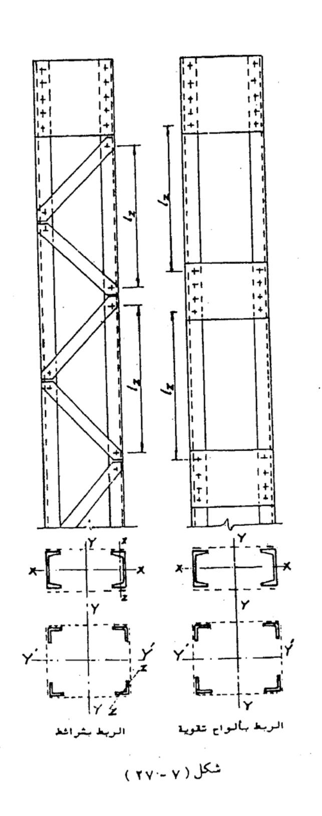
وفيها L_z = الطول الحر للعنصر بين نقط الربط.

r_z = نصف قطر العطالة الأصغر لمقطع العنصر.

و $\frac{L_y}{r_y}$: نسبة نحافة العمود فيما لو كان وحدة واحدة .

أما إذا كان عنصرا العمود متصلين حول محور آخر مثل $x - x$ فإن نسبة النحافة حول ذلك المحور لا تتغير.

- يجب ألا تزيد نسبة نحافة العنصر $\frac{L_z}{r_z}$ على $\frac{2}{3}\frac{L_y}{r_y}$ وبحيث لا تزيد على ٥٠ أي :


l_z
l_z
l_z
l_z
Y
Z
X
X
Z
Y
Y
X
X
Y
Y
Y'
Y'
Z
Y
Z
Y
Y'
Y'
Y
الربط بشرائط
الربط بألواح تقوية

شكل (٧ - ٢٧٠)

$$\frac{L_z}{r_z} \ngtr \frac{2}{3}\frac{L_y}{r_y} \ngtr 50 \qquad (7-4)$$

- يمكن الاستغناء عن حساب ألواح التقوية باستعمال القيم التالية:

١ - الألواح عند نهايتي العمود:

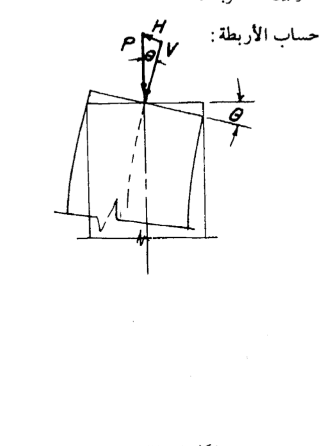
طول اللوح = $\frac{١}{٤}$ ١ عرضه بين خطوط الرباط.

٢ - الألواح المتوسطة:

طول اللوح = $\frac{٣}{٤}$ عرضه بين خطوط الرباط.

- يجب ألا يقل سمك لوح التقوية أو خوصة الرباط عن $\frac{١}{٤٥}$ من طوله الحر بين نقط الرباط.

حساب الأربطة:



شكل (٧ - ٢٨) تحنيب العمود

عندما تؤثر قوة محورية قدرهـا P على عمـود فإنهـا تتسبـ ، في حدوث تحنيب ، ينشأ عنه أن يميل مقطعه على وضعه الأصلي بزاوية صغيرة جداً قدرها θ . وبتحليل القوة P إلى مركبتيها V، العمودية على المقطع و H الواقعـة في مستواه :

$$V = P \cos \theta \cong P$$
$$H = P \sin \theta$$

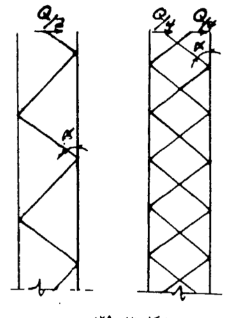
وقد قدرت المواصفات القوة الموازية للمقطع :

$$H = 0.02\ P$$

وباعتبـار أن هذه القـوة عمـودية على محـور العمـود فإن الأربطــة ، الأشرطة وألواح التقوية ، تحسب لتقاوم هذه القوة ، إضافة إلى القوى الأخرى الخارجية التي قد تؤثر على العمود في الاتجاه العرضي .

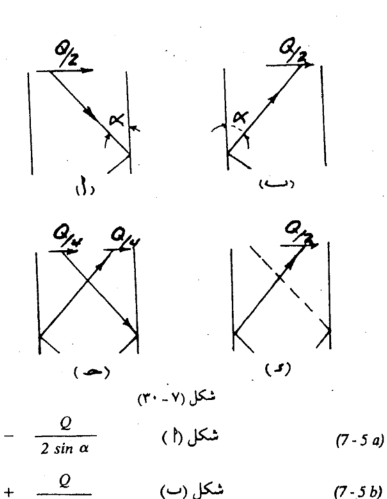
أولاً ـ حساب الأشرطة :

١ ـ حساب القوة : إذا كان مجموع القوى الأفقية بما فيها $0.02P$ يساوي Q فإن القـوة في كل جانـب مزود بأشرطة تساوي $\frac{Q}{2}$. وتكون القوة في الشريط كما يلي.



شكل (٧ ـ ٢٩)

ـ في النظـام ذي المجموعــة الواحدة من الأقطار (شكل ٧ ـ ٢٩ أ) ، تحسب القـوة كما هو مفصّـل في شكل (٧ ـ ٣٠ أ وب)



شكل (٧ ـ ٣٠)

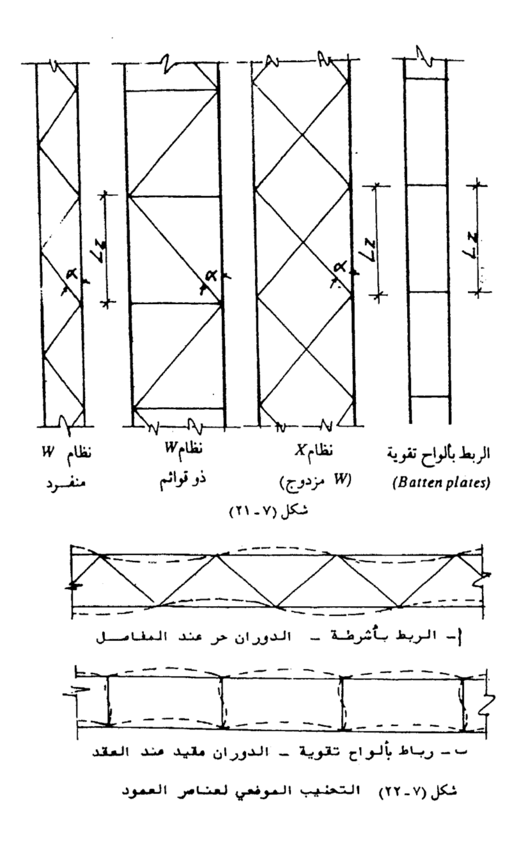
$$S_D = -\frac{Q}{2\sin\alpha} \qquad \text{شكل (أ)} \qquad (7-5\,a)$$

$$S_D = +\frac{Q}{2\sin\alpha} \qquad \text{شكل (ب)} \qquad (7-5\,b)$$

ـ في النظام ذي المجموعتين من الأقطار (شكل ٧ ـ ٢٩ ب) ، يمكن حساب القوة بإحدى طريقتين : أن يكون كلا القطرين المتقاطعين عاملا ، أي أنهما يشتركان في مقاومة قوة القص (شكل ٧ ـ ٣٠ حـ) وتكون :

$$S_D = \pm\frac{Q}{4\sin\alpha} \qquad \text{شكل (حـ)} \qquad (7-6)$$

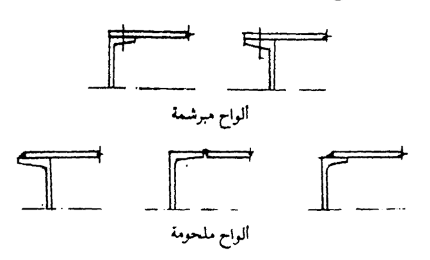
أن يفترض أن الشريط الذي يتعرض لقوة ضغط غير قادر على مقاومة تلك القوة فيحدث له تحنيب ولا يعود عاملاً ، فإنه في هذه الحالة يتطلب من



شكل (٧ - ٢١)

شكل (٧ - ٢٢) التحنيب الموضعي لعناصر العمود

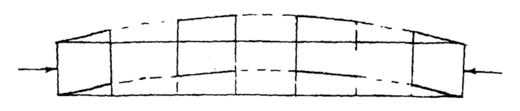
وقد تكون الألواح مبرشمة أو ملحومة (شكل ٧ ـ ٢٣)



شكل (٧ ـ ٢٣) ـ ألواح التقوية للمقطع الصندوقي

مميزات ألواح التقوية

إضافةً إلى تقليل طول التحنيب لعناصر العمود ، الأمر الذي تشاركها فيه الأربطة ، فإن ألواح التقوية تؤدي الأغراض التالية لأعضاء الضغط بصفة عامة



شكل (٧ ـ ٢٤) ـ تشوه ألواح التقوية

١ ـ تقاوم التحنيب ، فإنه إذا تعرض عمود مزود بألواح تقوية لتحنيب بحيث يريد أن يأخذ المتحني المعتاد ، فإن ألواح التقوية المستطيلة الشكل تأخذ شكل متوازي أضلاع (شكل ٧ ـ ٢٤) . ولما كانت لتلك الألواح جساءة في مستواها فإنها بلا شك تقاوم الانحراف إلى ذلك الشكل : وهذا من ثَم يؤثر

أ ـ في النظام ذي المجموعة الواحدة من الأقطار $\alpha = 20^\circ - 40^\circ$

اا ـ في النظام ذي المجموعتين المتقاطعتين من الأقطار $\alpha = 40^\circ - 50^\circ$

ـ يجب ألا تزيد نسبة النحافة على ١٨٠ .

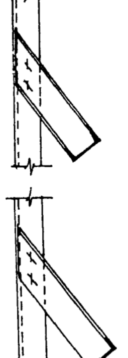
المقاطع المستخدمة في الشرائط:

الزاوية : متساوية أو غير متساوية حيث يمكن أن تتسع رجلها الطويلة لمسمارين.

المجرة : بحيث يتسع جذعها لمسمارين(شكل ٧ ـ ٣٣)

الخوصة : وهي أضعفها في مقاومة الضغط حيث أن نسبة النحافة لمقطعها المستطيل غير اقتصادية حيث ، $r = \frac{t}{\sqrt{12}}$ إلا إذا استخدمت في النظام ذي الأقطار المتقاطعة ، حيث تعمل في الشد ، وعندئذ يُفقد جزء من مقطعها بسبب ثقب المسمار ، ما لم تربط باللحام .

ويجب ألا يقل سمك الخوصة عن $\frac{1}{45}$ من طولها الحر.



شكل (٧ ـ ٣٣)

ثانياً ـ حساب الألواح .

سبق أن ذكرنا أن اتصال اللوح بالعضو إنما هو اتصال جسيء بحيث يتسبب مع حدوث عزم حني في اللوح . فإذا كان Q مجموع القوى الأفقية التي تؤثر على العمود شاملة $0.02P$ وهي تعمل عمودياً على محور العمود تكون القوة على كل جانب مزود بألواح تساوي $\frac{Q}{2}$ ، لكن يلاحظ أن القوة الأفقية $0.02\ P$ لا يتزايد تأثيرها عند حساب القوى الرأسية في العناصر ، بعكس القوى الأفقية الخارجية .

ولحساب مؤثرات الجهد ، يُفصل من النظام إطار على شكل حرف (H) مزود بخمسة مفاصل وتكون القوة الأفقية عند كل مفصل في القائمين $= \frac{Q}{4}$.وتحسب القوة الرأسية بمساواة عزم القوى الأفقية بعزم القوى الرأسية .

ويكون عزم الحني في كل من جزأي العمود :

$$M_1 = \frac{Qh}{8} \qquad (7-8)$$

ويكون عزم الحني في طرف لوح التقوية :

$$M_2 = \frac{Qh}{4} \qquad (7-9)$$

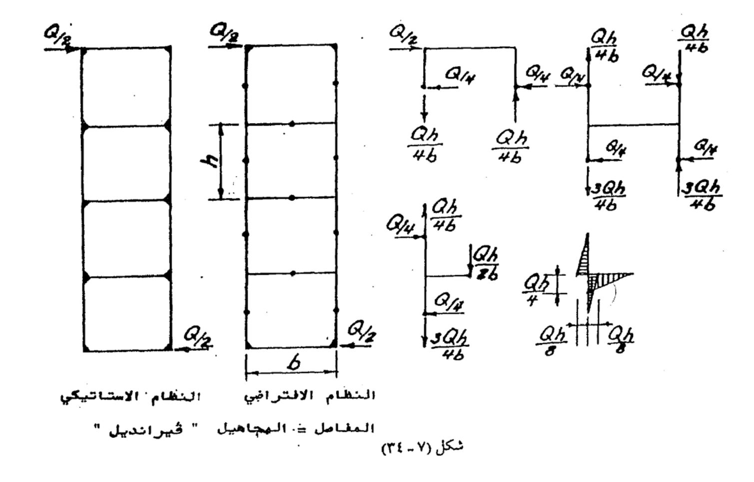
كما تؤثر على اللوح قوة قص :

$$V = \frac{Qh}{2b} \qquad (7-10)$$

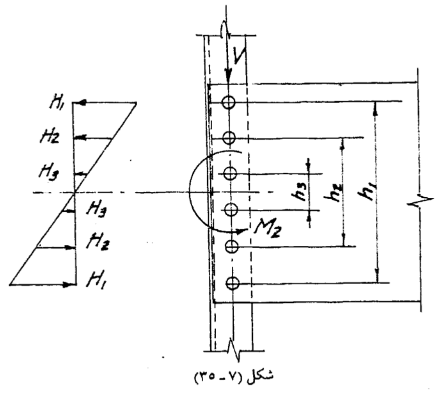
وعلى هذا يحسب لوح التقوية ليقاوم عزم حني مقداره $\frac{Qh}{4}$

وتحسب وصلته لتقاوم عزم الحني نفسه وكذلك قوة قص مقدارها $\frac{Qh}{2b}$.

وعند مراجعة الجهود في لوح التقوية تجب ملاحظة ما قد يفقد من المقطع بسبب ثقوب البراشيم .


Q/2
Q/2
h
b
Q/2
Q/2
Q/2
Q/4
Qh/4b
Q/4
Qh/4b
Q/4
Qh/4b
Q/4
3Qh/4b
Qh/4b
Q/4
Q/4
3Qh/4b
Q/4
Qh/4b
Qh/2b
Q/4
3Qh/4b
Qh/4
Qh/8
Qh/8
النظام الاستاتيكي
النظام الافتراضي
المفاصل = المجاهيل " ڤيرانديل "
شكل (٧ - ٣٤)

حساب الوصلة المبرشمة :



شكل (٧ ـ ٣٥)

توضع البراشيم على مسافات متساوية ، وتتناسب القوى فيها الناشئة عن عزم الحني مع بعدها عن مركز المجموعة . فإذا كانت القوة في المسمار الأقصى H_1 كانت في المسمار الذي يليه $H_1 \times \frac{h_2}{h_1}$ والذي يليه $H_1 \times \frac{h_3}{h_1}$

وبمساواة عزم مقاومة البراشيم بالعزم الخارجي نحصل على القوة الأفقية التي تؤثر على المسمار الأقصى من المعادلة التالية :

$$M_2 = H_1 \times h_1 + H_1 \times \frac{h_2}{h_1} \times h_2 + H_1 \times \frac{h_3}{h_1} \times h_3 .$$

$$= \frac{H_1}{h_1} (\Sigma h^2) \qquad (7 - 11)$$

ونقترح أن نفرض مقاساً للوح التقوية وليكن نحو $\frac{٣}{٤}$ عرضه ونفرض عدداً من البراشيم (n) ثم نحسب من المعادلة السابقة قيمة القوة الأفقية H_1 أما القوة الرأسية V فإنها توزع بالتساوي على البراشيم أي أن $V_1 = \frac{V}{n}$ ثم نحسب محصلة القوتين H_1 ، V_1 . ويجب ألا تتجاوز هذه المحصلة مقدرة المسمار في القص المفرد أي:

$$\sqrt{(H_1)^2 + (V_1)^2} \ngtr R_{s.s} \qquad (7-12)$$

وتحوي هذه المسألة متغيرات عدة : مقاس اللوح وخطوة البراشيم ثم قطر المسمار . ويلي حساب الوصلة التحقق من الجهد في مقطع اللوح باعتبار المقطع الصافي .

حساب الوصلة الملحومة :

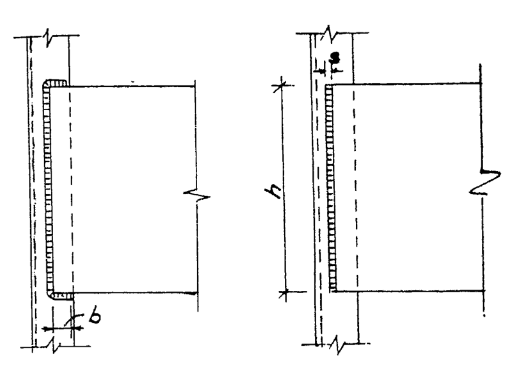
نبدأ بفرض سمك لوح التقوية بأن يكون نحو $\frac{١}{٤٥}$ من عرضه بين خطي اللحام ، وبذلك نحدد قيمة s التي يجب ألا تتجاوز سمك اللوح .

ولحساب الارتفاع h . بعد فرض قيمة s نجد أن هناك سطحين للحام الأول السطح الملاصق لعنصر العمود والثاني السطح الملاصق للوح التقوية .

١ ـ تؤثر على السطح الملاصق لعنصر العمود جهود أفقية ناشئة عن عزم الحني M_2 وجهود رأسية ناشئة عن القوة الرأسية V وكلاهما جهد قص واقع في ذلك المستوى ، ويمكن إيجاد قيمة تقريبية للارتفاع h من المعادلة :

$$q_H = 0.4 f_{bt} = \frac{M_2}{sh^2/6} \qquad (7-13\ a)$$

باعتبار جهد القص المسموح به لمادة اللحام ، ثم تزاد هذه القيمة لمقابلة



شكل (٧ - ٣٦)

الزيادة في الجهد الناشئة عن القوة الرأسية V، التي توزع بانتظام على مساحة اللحام ، من المعادلة :

$$q_v = \frac{V}{s \times h} \qquad (7-13\,b)$$

ويعاد حساب q_H ثم تحسب محصلة جهدي القص للتحقق من أنها لا تتجاوز الجهد المسموح به للحام الزاوي..

$$\sqrt{(q_H^2) + (q_V^2)} \ngtr 0.4\, f_{bt} \qquad (7-13)$$

٢ - تؤثر على السطح الملاصق للوح التقوية جهود عمودية ، جهود شد في نصفه العلوي وجهود ضغط في نصفه السفلي ناشئة عن عزم الحني M_2 ويحسب الجهد الأقصى في الألياف العليا والسفلى من المعادلة السابقة نفسها:

$$f = \pm \frac{M_2 . 6}{sh^2} \qquad (7 - 14\ a)$$

كما تؤثر على السطح جهود قص موزعة بانتظام :

$$q = \frac{V}{s.h} \qquad (7 - 14b)$$

ومن القيمتين f و q يحسب الجهد المكافىء :

$$f_e = \sqrt{f^2 + 3q^2} \qquad (7 - 14)$$

ويجب ألا يتجاوز الجهد المكافىء الجهد المسموح به للحام الزاوي مزاداً ١٠٪

$$f_e \not> 1.1 \times 0.4\, f_{bt}$$

هذا ويساعد في مقاومة عزم الحني أن يلحم جزء من اللوح المشترك مع عنصر العمود لحاماً أفقياً ويزداد عزم مقاومة اللحام وتصبح المعادلة :

$$M_2 = f . \frac{sh^2}{6} + f.\, b.s.h \qquad (7 - 15)$$

وبذلك تقل قيمة الجهد العمودي f ، مما يساعد على تقليل الارتفاع h .

طول التحنيب في الأعمدة

يتوقف طول تحنيب العمود غير المسنود جانبياً على ظروف نهايتيه ، كما سبق بيانه بالجدول (٤ ـ ٣) ، وفيه يظهر الفرق واضحاً بين العمود الذي كلتا نهايتيه مقيدة الحركة عمودياً على محوره وبين العمود الذي إحدى نهايتيه غير مقيدة الحركة أي قابلة للزحزحة الجانبية ، إذ يصل معامل التحنيب للعمود الذي إحدى نهايتيه غير مقيدة الحركة إلى أكثر من ضعف معامل التحنيب للعمود الذي نهايتاه مقيدتا الحركة. ويلاحظ أن معاملات التحنيب لهذه الأخيرة مأخوذة عن معادلات التحنيب للعالِم أويلر (Euler) كما يتضح من الجدول (٧ - ١) :

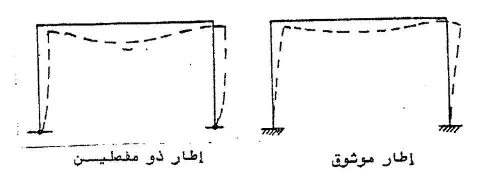
جدول ٧ - ١

ظروف نهايتي العمود	معادلات أويلر		طول التحنيب العملي
	الحمل الحرج	طول التحنيب	
النهايتان مفصليتان	$\frac{\pi^2 EI}{L^2}$	L	L
النهايتان موثوقتان	$4 \times \frac{\pi^2 EI}{L^2}$	$0.5L$	$0.65L$
نهاية موثوقة والأخرى مفصلية	$2 \times \frac{\pi^2 EI}{L^2}$	$0.7L$	$0.80L$
نهاية موثوقة والأخرى حرة	$\frac{1}{4} \frac{\pi^2 EI}{L^2}$	$2.0L$	$2.10L$

أما معاملات التحنيب للأعمدة التي إحدى نهايتيها غير مقيدة الحركة عمودياً على محورها شكل (٧ - ٣٧) فهي كما في الجدول (٧- ٢):

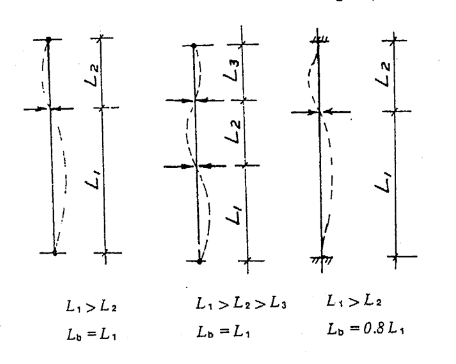
جدول ٧ - ٢

ظروف نهايتي العمود	الوضع العملي للعمود	طول التحنيب	
		النظري	العملي
النهايتـــانموثوقتان	إطار موثوق	$1.0L$	$1.2L$
نهاية مفصلية وأخرى موثوقة	إطار ذو مفصلين	$2.0L$	$2.0L$



شكل (٧ - ٣٧)

فإذا سند العمود الذي نهايتاه مقيدتا الحركة سنداً جانبياً كان طول التحنيب متوقفاً على المسافة بين النقط المسنود فيها ، ومنها نهايتاه ، كما في الأمثلة التالية (شكل ٧ - ٣٨) :

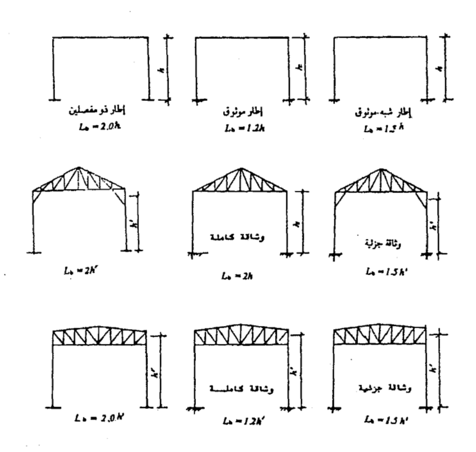


شكل (٧ - ٣٨)

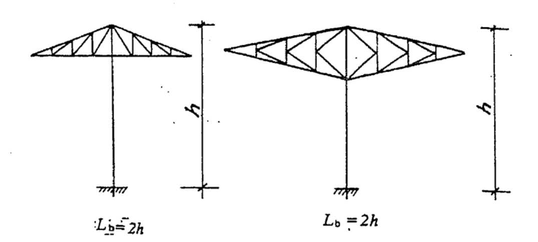
أطوال التحنيب لأعمدة الإطارات :

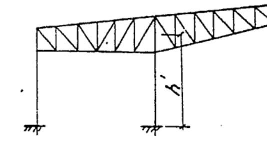
أولا - في مستوى الإطار :

يوضح شكل (٧ - ٣٩) أعمدة الإطارات وطول التحنيب لكل منها ، كما يبين شكل (٧ - ٤٠) الأعمدة الحاملة للكابولات .



شكل (٧ - ٣٩) - أطوال التحنيب لأعمدة الإطارات





القاعدة مفصلية : $L_b = 2h'$

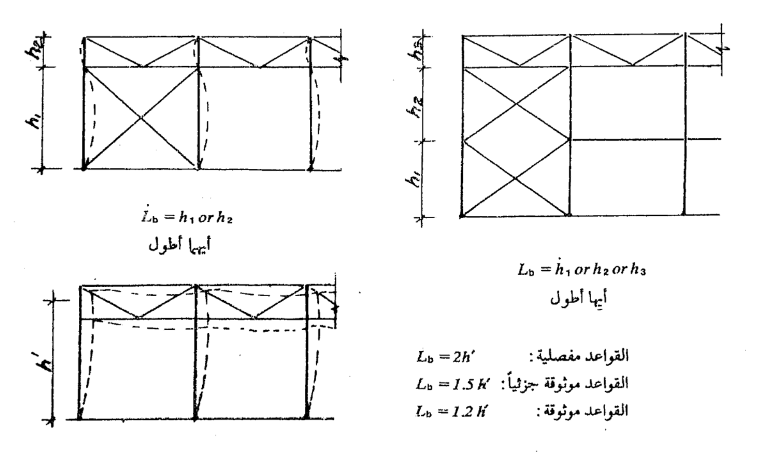
القاعدة موثوقة جزياً : $L_b = 1.5h'$

القاعدة موثوقة : $L_b = 1.2h'$

شكل (٧ ـ ٤٠)

ثانياً ـ عمودياً على مستوى الإطار :

يتوقف طول التحنيب في الاتجاه العمودي على مستوى الإطار على ظروف قواعد الأعمدة وعلى النقط التي يسند فيها العمود جانبياً ، ويكون السند فعالاً إذا زُوِّد المنشأ في ذلك الاتجاه بنظام أربطة أو إطار قادر على مقاومة الانزياح الجانبي . وفي هذه الحالة لا يشترط أن تكون قواعد الأعمدة موثوقة في ذلك الاتجاه ـ (شكل ٧ - ٤١) ـ



شكل (٧-٤١) – أطوال التحنيب لأعمدة الإطارات عمودديا على مستوى الإطار

أطوال التحنيب لأعمدة المباني :

يتوقف طول تحنيب عمود في مبنى ذي طابق واحد أو متعدد الطوابق على ظروف نهايتي العمود أي كيفية اتصاله بغيره من الأعضاء أو كيفية اتصال غيره من الأعضاء به .

ويمكن التفريق بين الحالات الآتية :

أولا ـ اتصال قاعدة العمود بالأساس يكون بإحدى الوسائل الآتية :

١ ـ اتصال مفصلي صريح .
٢ ـ اتصال شبه مفصلي .
٣ ـ اتصال موثوق وثاقة كاملة .
٤ ـ اتصال موثوق جزئياً .

ثانياً ـ اتصال الكمرات بالعمود يكون بإحدى طريقتين :

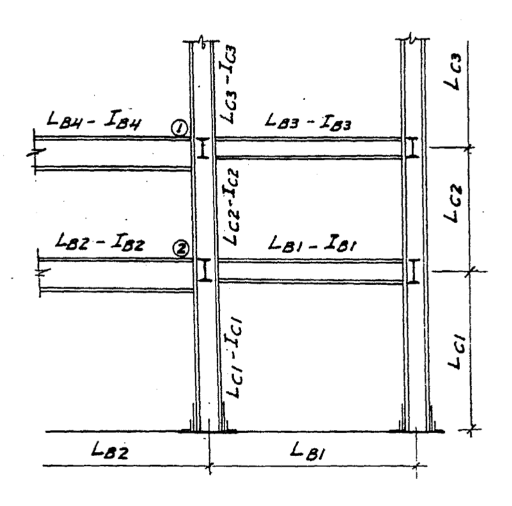
١ ـ وصلة بسيطة حيث يكون الحمل عليها خفيفاً ، وتعتبر الكمرات في هذه الحالة مسنداً جانبياً .

٢ ـ وصلة جسيئة قادرة على مقاومة عزم حني .

ثالثاً ـ يكون تنفيذ المبنى بإحدى طريقتين :

١ ـ أن يكون خالياً من الأربطة في المستوى الرأسي بحيث يكون عرضة للانزياح الجانبي *(Possible Sidesway)*

٢ ـ أن يزود المبنى بأربطة رأسية ، في باكية واحدة على الأقل في كل مستوى رأسي ، بحيث تكون الأربطة قادرة على مقاومة القوى الأفقية التي يتعرض لها المبنى ونقلها إلى الأساس وبذلك يمتنع الانزياح الجانبي *(Sidesway Prevented)*



شكل (٧ ـ ٤٢)

جساءة الوصلة *(Rigidity of joint)* :

عندما تكون الكمرات المحملة على العمود ذات وصلات جسيئة فإن طول تجنيب العمود يتأثر بجساءة الوصلة التي تساوي النسبة بين مجموع جساءتي العمودين أعلا الوصلة وأسفلها وبين مجموع جساءتي الكمرتين على جانبي الوصلة .

أي أن جساءة الوصلة :

$$G = \frac{\Sigma \frac{I_c}{L_c}}{\Sigma \frac{I_b}{L_b}} \qquad (7-16)$$

وفيها:

I_c = عزم عطالة العمود حول المحور العمودي على مستوى التحنيب.

I_b = عزم عطالة الكمرة حول المحور العمودي على مستوى تحنيب العمود.

L_c = الطول غير المسنود للعمود في مستوى التحنيب .

L_b = الطول غير المسنود للكمرة .

هذا وتؤخذ القيم التالية لجساءة الوصلة G عند قاعدة العمود المركبة على الأساس :

$G = 0$ إذا كان اتصال العمود بالأساس مفصلياً .

$G = \infty$ إذا كان اتصال العمود بالأساس جسيئاً .

$G = 1$ إذا كان الاتصال شبه مفصلي .

$G = 10$ إذا كان الاتصال وثاقة جزئية .

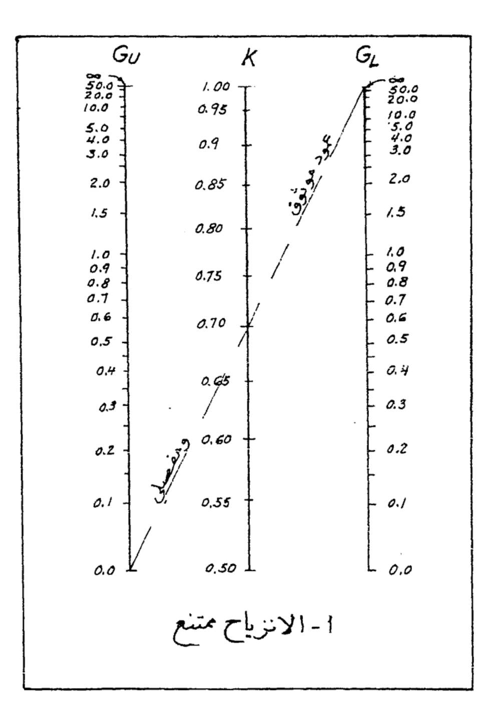
وتتوقف قيمة معامل التحنيب K على قيمة G عند كل من نهايتيه .

وتحسب قيمة K من رسم مونوجرام *(Monogram)* الذي يعتمد على المقياس اللوغاريتمي لقيم G .

وقد رسم مونوجرام خاص لكل من حالتي المبنى : حالة المبنى القابل للانزياح الجانبي وحالة المبنى الذي يمتنع فيه الانزياح (شكل ٧ ـ ٤٣) .

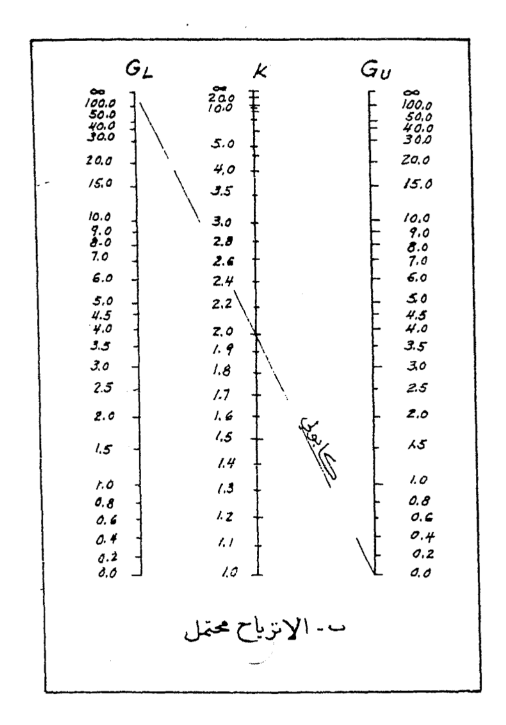
هذا ويجب حساب قيمة المعامل K في كلا اتجاهي المحورين الرئيسيين للعمود وذلك لتحديد القيمة الأكبر لنسبة النحافة .

ولتحقيق الرسمين في شكل (٧ ـ ٤٣) فقد أوضح على أحدهما معامل



GU
K
GL
∞
50.0
20.0
10.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.5
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
1.00
0.95
0.9
0.85
0.80
0.75
0.70
0.65
0.60
0.55
0.50
عمود موثوق
ومفصلي
أ - الانزياح ممتنع

شكل (٧ - ٢٤٣أ)



شكل (٧ ـ ٤٣ ب) معاملات التحنيب لأعمدة المباني ذات الطوابق

لعمود موثوق من إحدى نهايتيه وثاقة كاملة أي آن $G_L = \infty$ بينما النهاية الأخرى مفصلية أي أن $G_u = 0$ ، ويعطي الخط الواصل بينهما $K = 0.7$ وهي القيمة المعروفة .

وأوضح على الثاني معامل لكابولي موثوق من أسفله وثاقة كاملة أي أن $G_L = \infty$ وطرفه الآخر حر قابل للانزياح ـ حتى لو كان مسنوداً جانبياً وهو قابل للانزياح ـ أي أن $G_u = 0$، ويعطي الخط الواصل بينهما $K = 2.0$ وهي القيمة المعروفة .

اختيار المقطع

أولاً ـ العمود المحوري التحميل (Axially Loaded columns) :

تشابه الطريقة التي يُختار بها مقطع العمود إلى حد كبير الطريقة التي يختار بها المقطع لأعضاء الضغط في الجمالونات . حيث المعادلة التصميمية :

$$A_{req} = \frac{C}{f_{pb}} \qquad (7-1)$$

تحوي مجهولين هما المساحة المطلوبة A_{req} وجهد التحنيب المسموح به f_{pb} ، إذ أن جهد التحنيب يتوقف على نسبة نحافة العمود ، وهذه بدورها تتوقف على نصف قطر عطالة المقطع (r) (إضافة إلى طول التحنيب وهو معروف) .

وإذا كانت المساحة (A) غير متوقفة على شكل المقطع إلاّ أن نصف قطر العطالة يتوقف على شكل المقطع وعلى توزيع مادته بالنسبة لمحوريه .

ومعرفة قيمة نصف قطر العطالة نقطة أساسية في تصميم أعضاء الضغط ، وتعطي جداول المقاطع الفولاذية قيمة (r) للمقاطع الجاهزة . أما المقاطع المبنية فقد قدمنا لها قيماً تقريبية للاستفادة منها في الحسابات المبدئية . (شكل ٧ ـ ١٠ الى شكل ٧ ـ ١٧) .

وتبدأ الحسابات بفرض قيمة متوسطة لجهد التحنيب المسموح به والتي

منها يمكن استنتاج المساحة المناظرة وكذلك نصفي قطر العطالة للمقطع ، وتكون طريقة العمل كما يلي :

١ ـ يحدد الحمل المحوري C الواقع على العمود بالكيلوجرام .

٢ ـ يحدد طول التحنيب في كل من الاتجاهين الرئيسيين لمقطع العمود L_{bx} و L_{by}.

٣ ـ يفرض أن جهد التحنيب المسموح به :

$$\frac{L_b}{r} = 100 \text{ ويقابله } — 700\ Kg/cm^2$$

٤ ـ من هذا الفرض نحسب المساحة المناظرة وكلاً من r_x و r_y :

$$Let\ f_{pb} = 700\ Kg/cm^2 \longrightarrow \frac{L_b}{r} = 100$$

$$\downarrow \qquad\qquad \downarrow$$

$$A = \frac{C}{700}\ cm^2 \qquad\qquad r_x = \frac{L_{bx}}{100}\ cm$$

$$r_y = \frac{L_{by}}{100}\ cm$$

وهنا نفرق بين المقطع الجاهز والمقطع المبني .

أ ـ المقطع الجاهز أو المدلفن *(Rolled section)* :

نختار من جداول المقاطع الفولاذية المقطع الذي نراه ملائماً للخصائص التي حصلنا عليها :

ـ مقطع I عريض الشفة ، إذا كانت النسبة بين r_x و r_y صغيرة . إذ يتضح من الجدول أن هذه النسبة تبدأ من ١,٧ وتنتهي بمقدار ٣,٥ للمقطع رقم ٦٠٠ .

ـ مقطع I عادي إذا كانت النسبة بين r_x و r_y كبيرة ، إذ يتضح من الجدول أن

هذه النسبة تبدأ من ٥ , ٣ وتنتهي بمقدار ٤ , ٥ . هذا بخلاف أن r_y للمقطع العادي صغير جداً بحيث قد لا يفي بمتطلبات نسبة النحافة القصوى المسموح بها في المواصفات . وكما هو الحال في حساب أعضاء الضغط في الجمال ، نوجد المجال الذي يمكن اختيار المقطع فيه : وإحدى نهايتيه هي المقطع الذي يحقق شرط المساحة ونهايته الأخرى هي المقطع الذي يحقق شرط نصف قطر العطالة الأكثر حرجاً . انظر الأمثلة من رقم ٢ إلى رقم ٤ .

ب ـ المقطع المبني *(Built section)* :

نظراً لتعدد أشكال المقاطع المبنية فإن المصمم يواجه بمشكلة اختيار العناصر التي يبنى منها المقطع المطلوب . إضافةً إلى اختيار مقاسيْ المقطع ، وقد سبق أن أوضحنا أن الحيز الذي يشغله العمود يحكمه التصميم المعماري كما وأن التصميم الاقتصادي يقتضي أن تتساوى نسبتا نحافة العمود حول محوريه وبذلك يمكن معرفة النسبة بين مقاسي المقطع . ويمكن اختيار أحد المقاسين أو كليهما مما نعرفه من العلاقة بين مقاس مقطع العمود في اتجاه ما ونصف قطر عطالة المقطع في ذلك الاتجاه .

وتقسم المساحة المطلوبة بين عناصر المقطع ، ثم تجري عملية التدقيق في الجهد المسموح به والذي عبرنا عنه برفع قيمة نسبة النحافة لمراعاة ما تتعرض له العناصر من تحنيب موضعي في حالة الربط بالأشرطة أو تحنيب موضعي مصحوب بعزم حني في حالة الربط بألواح التقوية . انظر الأمثلة من رقم ٥ إلى رقم ٧ .

حـ ـ المقطع I الملحوم :

هنا يتم اختيار المقطع بأكمله ، لوح الجذع ولوح الشفة ، مقاساً وسمكاً .

١ ـ الجذع :

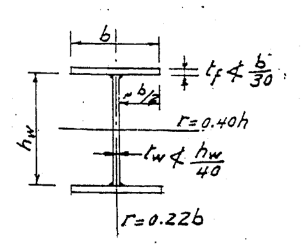
يتراوح عمق الجذع بين ١ / ٢٠ و ١ / ١٥ من الارتفاع الحر للعمود مع مراعاة ألا تتجاوز نسبة النحافة القيمة المقررة بالمواصفات .

ـ لكي يقاوم الجذع التحنيب الموضعي يجب ألا يقل سمكه عن $\frac{١}{٤٠}$ من عمقه .

٢ ـ الشفتان :

ـ يؤخذ عرض الشفة مما يحقق تساوي نسبة النحافة للعمود في الاتجاهين طالما كان ذلك ممكناً .

ـ يؤخذ سمك الشفة بحيث لا يقل عن $\frac{١}{١٥}$ من بعد طرف الشفة عن الجذع (شكل ٧ ـ ٤٨) . انظر المثال رقم (٧ ـ ٨) .



شكل (٧ ـ ٤٤)

وهذه أمثلة لاختيار المقاطع لمختلف الأعمدة .

أولا ـ الأعمدة التي تحمل قوة محورية (Axially loaded columns) :

مثال (٧ ـ ٢) ـ المطلوب اختيار مقطع على شكل I لعمود يحمل ٣٠ طناً ، إذا كان طول التحنيب في الاتجاهين ٦,٠٠ م .

$Let\ f_{pb} = 700\ Kg/cm^2 \quad for\ which\ \frac{L}{r} = 100$

$$A_{req} = \frac{30000}{700} = 42.8 \ cm^2 \qquad r_x = r_y = \frac{600}{100} = 6.0 \ cm$$

a: S.I.B   مقطع I عادي

S.I.B. N° 240 — $A = 46.1 \ cm^2, r_x = 9.59 \ cm, r_y = 2.20 \ cm$
(too small)

S.I.B. N° 600 — $A = 254.0 \ cm^2, r_x = 23.4 \ cm, r_y = 4.30 \ cm$
(too big)

(ملحوظة ـ هذا أكبر مقطع I عادي وينتظر أن يكون أكبر من اللازم) .

Try S.I.B. N° 450, $A = 147.0 \ cm^2, r_y = 3.43 \ cm$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{600}{3.43} = 175$$

$$f_{pb} = \frac{7\,000\,000}{(175)^2} = 229 \ Kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{30\,000}{147} = 204 \ Kg/cm^2 \quad (O.K.)$$

b: B.F.I.B. مقطع I عريض الشفة   HEB 5.39

B.F.I. N° 140 - $A = 43.0 \ cm^2, r_x = 5.93 \ cm, r_y = 3.58 \ cm$ (too small)

B.F.I. N° 240 - $A = 106.0 \ cm^2, r_x = 10.30 cm. \ r_y = 6.08 \ cm$ (too big)

Try B.F.I. N° 200 - $A = 78.1 \ cm^2, r_x = 8.54 \ cm \ r_y = 5.07 \ cm$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{600}{5.07} = 118$$

$$f_{pb} = \frac{7\,000\,000}{(118)^2} = 503 \ Kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{30\,000}{78.1} = 384 \ Kg/cm^2 \quad (O.K.)$$

ملحوظة : قد يبدو أن المقطع المختار كبير ولكن B.F.I. 180 لا يصلح حيث :

$(f_{pb} = 402\ Kg/cm^2, f_{act} = 462\ Kg/cm^2)$

مثال (٧ - ٣) - في المثال (٧ - ٢) ، ماذا يكون المقطع إذا سند العمود في منتصفه في الاتجاه الضعيف .

$P = 30\,000\ Kg,\ L_{bx} = 600\ cm,\ L_{by} = 300 cm$

Let $f_{pb} = 700\ Kg/cm^2 \longrightarrow \frac{L}{r} = 100$

$$A_{req} = \frac{30\,000}{700} = 42.8\ cm^2 \qquad r_x = \frac{600}{100} = 6.0\ cm$$

$$r_y = \frac{300}{100} = 3.0\ cm$$

a — S.I.B.

S.I.B. N° 240 — $A = 46.1\ cm^2,\ r_x = 9.59\ cm, r_y = 2.20\ cm$ (too small)

S.I.B. N° 380 — $A = 107.0\ cm^2,\ r_x = 15.00\ cm,\ r_y = 3.02\ cm$ (too big)

Try S.I.B. N° 300 — $A = 69.0\ cm^2,\ r_x = 12.7\ cm,\ r_y = 2.56\ cm$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{300}{2.56} = 117$$

$$f_{pb} = \frac{7\,000\,000}{(117)^2} = 503\ Kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{30\,000}{69.0} = 435\ Kg/cm^2 \qquad (O.K.)$$

b— B.F.I.B

B.F.I. N° 140 — $A = 43.0\ cm^2,\ r_x = 5.93\ cm,\ r_y = 3.58\ cm$ (too small)

B.F.I. N° 160 — $A = 54.3\ cm^2,\ r_x = 6.78\ cm,\ r_y = 4.05\ cm$ (too big)

$Try\, B.F.I.N^{o}\, 160-$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{600}{6.78} = 88.5 \qquad \frac{L_{by}}{r_y} = \frac{300}{4.05} = 74.1$$

$$f_{pb} = 1300 - 0.06 \times (88.5)^2 = 830\ Kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{30\,000}{54.3} = 552\ Kg/cm^2 \qquad (\approx O.K.)$$

$(For\ B.F.I.N^{o}\,140:$

$f_{pb} = 686\ Kg/cm^2,\ f_{act} = 698\ Kg/cm^2)$

(الجهد الفعلي أعلا بنحو ١,٧ ٪ - يمكن استخدامه)

مثال (٧ - ٤) - في المثال (٧ - ٢) ، ماذا سيكون المقطع إذا سند العمود في نقطتي الثلث في الاتجاه الضعيف .

$P = 30\,000\ Kg,\ L_{bx} = 600\ cm,\ L_{by} = 200\ cm$

$$Let\ f_{pb} = 700\ Kg/cm^2 \longrightarrow \frac{L}{r} = 100$$

$$A_{req} = \frac{30\,000}{700} = 42.8\ cm^2 \qquad r_x = \frac{600}{100} = 6.0\ cm$$

$$r_y = \frac{200}{100} = 2.0\ cm$$

a - S.I.B.

$S.I.B.N^{o}220 — A = 39.5\ cm^2,\ r_x = 8.80\ cm,\ r_y = 2.02\ cm$ (too small)

$S.I.B.N^{o}240 — A = 46.1\ cm^2,\ r_x = 9.59\ cm,\ r_y = 2.20\ cm$ (too big)

يلاحظ هنا أنه لا يوجد مقطع وسط ، فالمقطع S.I.B. 220 بالتأكيد غير كاف كما أن المقطع S.I.B. 240 أكبر مما يلزم ولكن لا مناص من استخدامه ، وتصل مقدرته إلى ٣٧ طناً . وهذه مقارنة بين المقطعين :

جدول ٧ ـ ٣

Section	$f_{pb}, Kg/cm^2$	$f_{act}, Kg/cm^2$
S.I.B.220	712	759
S.I.B.240	803	651

b - B.F.I.B.:

B.F.I. N° 140 — $A = 43.0\ cm^2$, $r_x = 5.93\ cm$, $r_y = 3.58\ cm$ (too small)

B.F.I.N° 160 — $A = 54.3\ cm^2$, $r_x = 6.78\ cm$, $r_y = 4.05\ cm$ (too big)

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{600}{5.93} = \underline{101} \qquad \frac{L_{by}}{r_y} = \frac{200}{2.53} = 79$$

يلاحظ أنه بالنسبة للمقطعين نجد أن r_x هي الحرجة .

وبالنسبة للمقطع B.F.I. 140 يمكن استخدامه إذ لا يزيد الجهد به إلا بمقدار ١,٧ ٪ عن المسموح به .

والآن نعقد مقارنة بين مقطع الكمرات I العادية والكمرات I عريضة الشفة عند استعمالها في الأعمدة :

جدول ٧ ـ ٤

نوع المقطع	مساحة مقطع العمود cm^2 عندما يكون العمود :		
	غير مسنود	مسنوداً جانبياً	
		في المنتصف	في كل ثلث
S.I.B	147.0	69.0	46.1
B.F.I.B.	78.0	43.0	43.0

ومن الجدول نستنتج ما يلي :

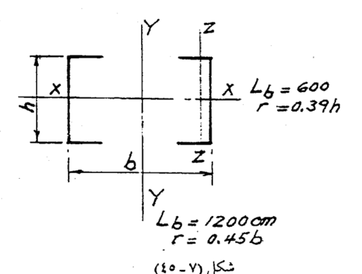
١ ـ أن المقطع I' عريض الشفة هو المقطع المناسب للعمود غير المسنود بكامل ارتفاعه .

٢ ـ أن المقطع I العادي لا ينصح باستعماله ، إلاّ إذا أمكن سنده جانبياً .

٣ ـ أنه كلما ازدادت نقط سند المقطع I العادي كلما أمكن زيادة الوفر فيه . وقد يكون أوفر من المقطع عريض الشفة .

مثال (٧ ـ ٥) ـ المطلوب اختيار مقطع مكوّن من مجرتين متقابلتين ليحمل ٥٥,٠٠ طناً حيث طولا التحنيب في الاتجاهين ١٢,٠٠ متراً و ٦,٠٠ أمتار .

نرسم المقطع ونحدد خواصه التقريبية : وطبعاً يكون المقاس الأصغر في اتجاه طول التحنيب الأصغر (شكل ٧ ـ ٤٥) .



شكل (٧ ـ ٤٥)

$$Let\ f_{pb} = 700\ Kg/cm^2 \longrightarrow \frac{L_b}{r} = 100 = \frac{L_x}{r_x} = \lambda_y$$

$$A_{req} = \frac{55000}{700} = 79.0\ cm^2 \qquad \frac{L_y}{r_y} \cong \frac{100}{1.2} = 83$$

$A \, of \, [\; = 39.5 \; cm^2$

$$r_x = \frac{600}{100} = 6.0 \; cm$$

$$r_y = \frac{1200}{83^*} = 14.4 \; cm$$

$$h = \frac{6.0}{0.39} = 16 \; cm$$

$$b = \frac{14.4}{0.45} = 32 \; cm$$

(*هنا افترضنا أن الزيادة في نسبة النحافة الناشئة عن التحنيب الموضعي ~20%) .

∴ المطلوب مجرة مقاسها 160 ومساحتها $39.5 \; cm^2$ وتتباعد المجرتان $32.0 \; cm$

[160	$A = 24.0 \; cm^2$	$r_x = 6.21 \; cm$	too small
[240	$A = 42.3 \; cm^2$	$r_x = 9.22 \; cm$	too big

Try 2 [200 , $b = 38.0 \; cm$ (لأن المساحة أصغر يلزم زيادة b)

$A = 32.2 \; cm^2, \; r_x = 7.7 \; cm, \; r_z = 2.14 \; cm, \; e = 2.01 \; cm$

$r_y = \sqrt{2.14^2 + 16.99^2} = 17.12 \; cm$

شكل (٧-٤٦)

$$\frac{L_y}{r_y} = \frac{1200}{17.12} = 70$$

$$\frac{L_z}{r_z} = \frac{2}{3} \times 70 = 47 < 50$$

$$\lambda_y = \sqrt{70^2 + 47^2} = \underline{84}$$

$$\frac{L_x}{r_x} = \frac{600}{7.7} = 78$$

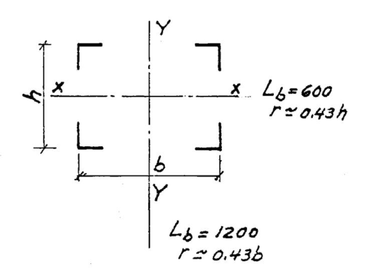
$$f_{pb} = 1300 - 0.06 \times 84^2 = 877 \; Kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{55\,000}{2 \times 32.2} = 825 \; Kg/cm^2 \qquad (O.K.)$$

ملحوظة : سنتكلم عن حساب الأربطة فيما بعد .

مثال (٧ - ٦) - في المثال السابق المطلوب اختيار مقطع مكوّن من ٤ زوايا متساوية .

$N = 55\,000\ Kg, L_{bx} = 600\ cm, L_{by} = 1200\ cm$



شكل (٧ - ٤٧)

يكون التصميم اقتصادياً عندما تتساوى نسبة النحافة في الاتجاهين . وعلى هذا فإن نصف قطر العطالة حول كل من المحورين يتناسب مع طول التحنيب في اتجاه المحور ، ولما كان نصف قطر العطالة يتناسب مع مقاس المقطع ، يستنتج من ذلك أن يتناسب مقاسا المقطع مع طولي التحنيب (تقريباً) .

$$Let\ f_{pb} = 700\ Kg/cm^2 \longrightarrow \frac{L_b}{r} = 100 = \lambda_y = \lambda_x$$

$$A = \frac{55000}{700} = 79.0\ cm^2 \qquad \frac{L_x}{r_x} = \frac{L_y}{r_y} = \frac{100}{1.2} = 83$$

$$A\ of 1\ L = 19.8\ cm^2 \qquad r_y = \frac{1200}{83} = 14.4\ cm$$

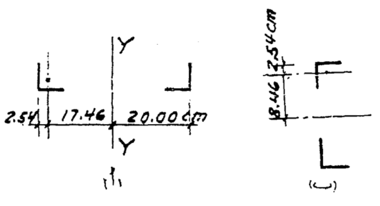
$$b = \frac{14.4}{0.43} = 34\ cm$$

هنا يمكن اختيار ٤ زوايا ١٠٠ × ١٠٠ × ١٠ بعرض ٣٥ سم . كما يمكن اختيار زوايا أصغر ولكن هذا يؤدي إلى زيادة العرض. إذ أن زيادة العرض تعني زيادة r وبالتالي تنقص $\frac{L}{r}$ ومن ثم يزداد الجهد المسموح به ويستتبع ذلك نقص المساحة المطلوبة .

ويلاحظ أن اختيار الزوايا ١٠٠ يجعل ارتفاع المقطع لا يقل عن ٢٠ سم وهذا أكبر من نصف العرض ، وبذلك لا تتساوى نسبة النحافة في الاتجاهين .

إذن ، لنجرب الزوايا ٩٠ × ٩ بعرض ٤٠ سم

$A = 4 \times 15.5\ cm^2\ ,\ e = 2.54\ cm\ ,\ r_x = 2.74\ cm\ ,\ r_z = 1.76\ cm$



شكل (٧ - ٤٨)

$$r_y = \sqrt{2.74^2 + 17.46^2} = 17.7\ cm$$

$$\frac{L_y}{r_y} = \frac{1200}{17.7} = 68$$

$$\frac{L_z}{r_z} = \frac{2}{3} \times 68 = 45 < 50\ (O.K.)$$

$$\lambda_y = \sqrt{68^2 + 45^2} = 81$$

$$f_{pb} = 1300 - 0.06 \times 81^2 = 902\ Kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{55\,000}{4 \times 15.5} = 887\ Kg/cm^2 \qquad (O.K.)$$

ارتفاع المقطع (عند تساوي نسبة النحافة في الاتجاهين)

$$r_x = r_y \frac{L_x}{L_y} = 17.7 \times \frac{1}{2} = \sqrt{2.74^2 + y^2}$$

$y = 8.4\ cm \quad b = 2(8.4 + 2.54) = 22 cm$ شكل (٧ - ٤٨ ب)

مثال(٧ـ٧) في المثال رقم (٧ - ٣) المطلوب اختيار مقطع مكون من مجرتين متظاهرتين :

$P = 30.000\ Kg, L_{bx} = 600\ cm, L_{by} = 300\ cm$

لوح التجميع

1.0

2.42

Z Z X X Y Y

(حـ) (ب) (أ)

شكل (٧ - ٤٩)

$$Let\ f_{pb} = 700\ Kg/cm^2 \longrightarrow \frac{L}{r} = 100$$

$$A_{req} = \frac{30\,000}{700} = 42.8\ cm^2 \qquad r_x = \frac{600}{100} = 6.0\ cm$$

$$r_y = \frac{300}{100} = 3.0\ cm$$

$$r_Y \sim 1.2 \times 3.0 = 3.6\ cm$$

$$B_{req} \cong \frac{3.6}{0.22} = 16.0\ cm$$

2 [160 : $A = 48.0\ cm^2,\ r_x = 6.21\ cm,\ r_z = 1.89\ cm,\ b = 6.50\ cm$

$B = 14.0\ cm$ (too small)

2 [200 : $A = 64.4\ cm^2,\ r_x = 7.7\ cm,\ r_z = 2.14\ cm\ b = 7.5\ cm$

$B = 16.0\ cm$ (too big)

Try 2 [180 : $A = 56.0\ cm^2,\ r_x = 6.95\ cm,\ r_z = 2.02\ cm,\ e_y = 1.92\ cm$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{600}{6.95} = 86$$

$$r_y = \sqrt{(2.02)^2 + (2.42)^2} = 3.15\ cm$$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{300}{3.15} = 95$$

$$\frac{L_{bz}}{r_z}\ \text{taken } 50\ (< \frac{2}{3} \times 95)$$

$$\lambda_y = \sqrt{(95)^2 + (50)^2} = \underline{107}$$

$$f_{pb} = \frac{7\,000\,000}{(107)^2} = 611\ kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{30\,000}{56.0} = 536\ kg/cm^2 \qquad O.K.$$

$$L_z \ngtr 50 \times 2.02 \ngtr 101\ cm$$

هذا المقطع أكثر اقتصادا من المقطع I العادي ، ولكن يقلل من هذا الوفر الألواح المطلوب ربط المجرتين بها . والمقطع أثقل من المقطع I عريض الشفة ولكن يمتاز عليه بأن وصل أعضاء الجمل به أسهل كثيرا (شكل ٧ ـ ٤٩ حـ) وخاصة في حالة الكابولات .

كما يلاحظ أن هذا المقطع يكون غير اقتصادي إذا كان طول التحنيب في الاتجاه y - y كبيرا .

مثال (٧ ـ ٨) ـ في المثال السابق المطلوب اختيار مقطع مبني ملحوم على شكل I .

$P = 30\,000\ Kg$, $L_{bx} = 600\ cm$, $L_{by} = 300\ cm$

$Let\ f_{pb} \doteq 700\ kg/cm^2 \rightarrow \frac{L_b}{r} = 100$

$$A_{req} = \frac{30\,000}{700} = 42.5\ cm^2 \qquad r_x = \frac{500}{100} = 6.0\ cm, h \simeq \frac{6.0}{0.4} = 15.00\ cm$$

$$r_y = \frac{300}{100} = 3,0\ cm, b \simeq \frac{3.0}{0.22} = 14.0\ cm$$

$Try: Web\ 140 \times 8, 2\ Flange\ Plates\ 140 \times 10$

$A = 11.2 + 2 \times 14 = 39.2\ cm^2$

$$I_x = \frac{0.8 \times 14.0^3}{12} + 2 \times 14.0 \times 7.5^2 = 1756\ cm^4$$

$$I_y = 2 \times 1.0 \times \frac{14.0^3}{12} = 457\ cm^4$$

(عزم عطالة اللوح حول محوره الضعيف ضئيل ولا داعي لحسابه)

$$r_x = \sqrt{\frac{1756}{39.2}} = 6.7\ cm$$

$$r_y = \sqrt{\frac{457}{39.2}} = 3.38\ cm$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{600}{6.7} = \underline{89.5}$$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{300}{3.38} = 88.8$$

شكل (٧ ـ ٥٠)

$$f_{pb} = 1300 - 0.06 \times 89.5^2 = 814\ kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{30\,000}{39.2} = 765\ kg/cm^2 \qquad O.K$$

يلاحظ أن :

١ ـ هذا المقطع أخف وزنا من المقطع I عريض الشفة ولكن تكلفة التشغيل أكبر ، ويمكن اللجوء إليه إذا لم يعثر على مقطع عريض الشفة لأنه يكون قطعا أوفر من المقطع I العادي الذي مساحته $69.0\ cm^2$.

٢ ـ يراعى في المقاطع المبنية الحدود الدنيا لأسماك الألواح :

للجذع : $t_w \nless \dfrac{h}{40}$

للشفة : $t_{fl} \nless \dfrac{b}{30}$

ثانيا ـ الأعمدة المعرضة لعزم حني *(Eccentrically Loaded columns)* :

إذا تعرض عمود لعزم حني M ، إضافة إلى حمل عمودي P ، فإن معادلة الجهود على مقطعه هي :

$$f = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z} \qquad (7-17)$$

فإذا كان الحمل العمودي ضغطا فإن أثره يتعدى إحداث جهود في المقطع إلى التسبب في تحنيب العمود . ولما كان احتمال حدوث التحنيب يستدعي خفض الجهد المسموح به إلى الجهد المسموح به للتحنيب (f_{pb}) بما يتناسب مع نسبة نحافة العمود فإنه يجب أن يؤخذ هذا التأثير في الاعتبار عند اختيار المقطع . ويعادل خفضُ الجهد المسموح به رفعَ قيمة القوة الضاغطة أي تأثيرها ـ حيث يضرب الحد $\frac{P}{A}$ من المعادلة المذكورة في المعامل ω حيث :

$$\omega = \frac{f_{pb}}{f_{pc}} \qquad (7-18)$$

ومن الواضح أن قيمة ω تكون دائما أكبر من الواحد .

وبذلك تصبح معادلة الجهد الفعلي على مقطع معرض لقوة محورية وعزم حني :

$$f_{act} = \frac{P}{A}\,\omega \pm \frac{M}{Z} \qquad (7 - 19)$$

ويجب ألا يزيد الجهد الفعلي على الجهد المسموح به للضغط (f_{pc}) .
ولوضع هذه المعادلة في الصورة التصميمية نجد أنها تحتوي على ثلاثة مجاهيل A و Z و ω . وهنا لا بد من فرض قيمة للمعامل ω التي قد تزيد على ٣ ويمكن فرض قيمة متوسطة . وتختلف طريقة التصميم في حالة المقطع الجاهز عنها في المقطع المبني .

أ ـ المقطع I الجاهز :

أ ـ يقسم الجهد المسموح به وهو $f_{pc} = 1300\ kg / cm^2$ قسمين أحدهما يغطي تأثير القوة العمودية والثاني يغطي تأثير عزم الحني. وقد يحتاج تقسيم الجهد بين هذين التأثيرين إلى شيء من التمرين ، إذ أن ذلك يتوقف على قيمة كل من الحمل العمودي وعزم الحني ، إضافة إلى نسبة نحافة العمود التي هي العامل الثاني الذي يؤثر في قيمة الجهد المحتسب من القوة العمودية.
وهذه هي طريقة العمل :

$$f_{pc} = 1300\ kg / cm^2$$

$$f(P) = 600\ kg / cm^2 \qquad\qquad f(M) = 700\ kg / cm^2$$

$$A = \frac{C}{600} \times 2.0^{*} \qquad\qquad Z = \frac{M}{700}$$

(*2 هو العامل ω المفروض)

ب ـ من الجداول نستخرج المقطع الذي يحقق شرط المساحة (A) والمقطع الذي يحقق شرط معاير المقطع (Z) .

حـ ـ فيما بين هذين المقطعين سنجد المقطع المناسب الذي تكون الجهود فيه في الحدود المسموح بها ويكون ذلك بتحقيق الجهود الفعلية فيه ـ انظر المثالين (٧ ـ ٩) ، (٧ ـ ١٠) .

د ـ إن توزيع الجهود العمودية على مقطع العمود المعرض لقوة عمودية وعزم حني يكون توزيعا منتظما ويتوقف نوع الجهد على قيمة القوة العمودية وقيمة عزم الحني (شكل ٧ ـ ٥١) :

ـ فإذا كان عزم الحني صغيرا كانت الجهود على المقطع كلها جهود ضغط كما في شكل (أ) .

ـ وإذا كان عزم الحني كبيرا ظهرت جهود شد في أحد جانبي المقطع .

وهنا يجب مراعاة ما قد يوجد بالمقطع من ثقوب براشيم أو براغي ، وخاصة في المنطقة التي بها جهود الشد وعلى الأخص في الشفة ، حيث يفقد من المقطع مالا يقل عن ١٥٪ من مساحته ومن عزم عطالته . فاذا ما وجدت هذه الثقوب وجب أن تعدّل المعادلة (7 - 19) بحيث تستبدل المساحة الصافية A_{net} بالمساحة A ومعاير المقطع الصافي Z_{net} بمعاير المقطع Z فتصبح :

شكل (٧ ـ ٥١)

$$f_{act} = \frac{P}{A_{net}} \times \omega + \frac{M}{Z_{net}} \ngtr f_{bt} \qquad (7-20)$$

ب ـ المقطع المبني :

في هذه الحالة نفرض أن المقطع مكون من كتلتين متساويتين مساحة كل منهما (A) تقع الواحدة منهما في مركز ثقل جزء من المقطع وبذلك :

١ ـ من حيث أن القوة N تقع في مركز المقطع الكلي فإنه يخص كل كتلة من هذه القوة نصفها أي $\frac{N}{2}$.

٢ ـ من حيث أن عزم الحنى M يؤثر على المقطع في الخط الواصل بين مركزي الكتلتين فإن تأثير M عليهما يكون على هيئة قوتين متساويتين متوازيتين متضادتين أي $\pm\frac{M}{d}$ حيث d هو البعد بين مركزي الكتلتين .

٣ ـ بذلك تكون القوة الأكبر هي في الكتلة التي إلى اليسار (شكل ٧ ـ ٥٢) :

$$P = \frac{N}{2} + \frac{M}{d} \qquad (7-21)$$

٤ ـ لما كانت الجهود الناشئة عن M , N غير متماثلة على المقطع بأكمله ، ولما كان الجهد الذي يسمح به على الألياف الخارجية للمقطع هو $= f_{pc}$ $1300\ kg/cm^2$ فإن الجهد عند مركز الكتلة يكون أقل من ذلك بقليل . ولما كان كل عنصر من العمود عرضة لحدوث تحنيب غير معروف تأثيره حتى يعرف المقطع ، فإنه يمكن الاستعاضة عن ذلك بخفض الجهد الذي يمكن اختيار مساحة الكتلة على أساسه ويمكن افتراض أن الجهد في مركز الكتلة نحو $85\ \%\ f_{pc}$ وليكن

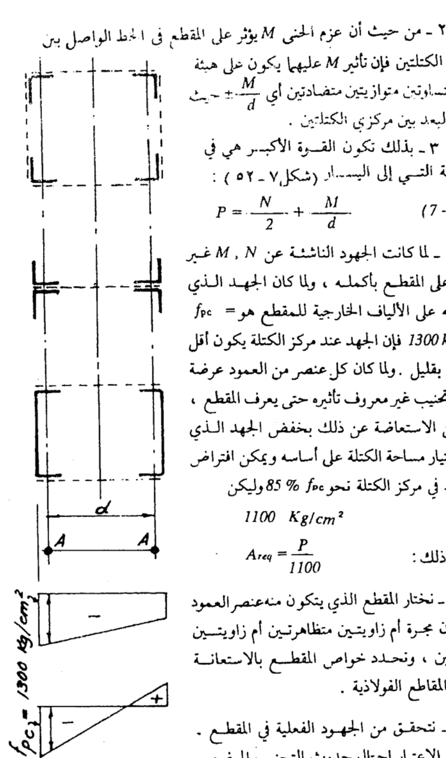
$$1100 \quad Kg/cm^2$$

وعلى ذلك :

$$A_{req} = \frac{P}{1100}$$

٥ ـ نختار المقطع الذي يتكون منه عنصر العمود سواء أكان مجرة أم زاويتين متظاهرتين أم زاويتين متواجهتين ، ونحدد خواص المقطع بالاستعانة بجداول المقاطع الفولاذية .

٦ ـ نتحقق من الجهود الفعلية في المقطع . آخذين في الاعتبار احتمال حدوث التحنيب الموضعي



شكل (٧ ـ ٥٢)

حول المحور ح - ح لعناصر العمود (انظر الأمثلة من رقم ١٠ حتى ١٣) .

الأعمدة المعرضة لعزم حني - أمثلة :

أ - المقاطع الجاهزة :

مثال (٧ - ٩) - المطلوب اختيار مقطع لعمود يحمل ٧٠,٠٠ طنا ومعرض لعزم حني مقداره ٨,٠٠ طن متر ، حيث طول التحنيب في أحد الاتجاهين ١٠,٠٠ أمتار وفي الآخر ٤,٠٠ أمتار .

$N = 70.0\ t\ ,\ M = 800\ tcm$

$L_{by} = 10\ 00\ cm\ ,\ L_{bx} = 400\ cm$

$$Let\ f_b = 1300\ kg / cm^2$$

$$for\ N = 600\ kg / cm^2 \quad for\ M : 700\ kg / cm^2$$

$$A = \frac{70\,000}{600} \times 1.5 \qquad Z = \frac{800\,000}{700}$$

$$= 175\ cm^2 \qquad\qquad = 1140\ cm^3$$

(بفرض $\omega = 1.5$)

أولا - مقطع I عريض الشفة :

$B.F.I.\ 340 - A = 174\ cm^2\ , Z_x = 2170\ cm^2$ (too big).

$B.F.I.\ 260 - A = 118\ cm^2\ , Z_x = 1150\ cm^2$ ('too small) .

Try $B.F.I.\ 280 - A = 144\ cm^2\ , Z_x = 1480\ cm^3$,.

$r_x = 12.0\ cm,\ r_y = 7.14\ cm$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{1000}{12.0} = \underline{83.3}$$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{400}{7.14} = 56.0$$

$$f_{pb} = 1300 - 0.06 \times 83.3^2 = 883\ kg/cm^2$$

$$\omega = \frac{1300}{883} = 1.47$$

$$f_{act} = -\frac{70000}{144} \times 1.47 \pm \frac{800000}{1480}$$

$$= -714.6 \pm 540.5$$

$$-1255\ kg/cm^2 < 1300\ kg/cm^2 \qquad (O.K)$$

$$and\ -174\ kg/cm^2$$

ثانيا - مقطع I عادي :

S.I.B 500 $- A = 179\ cm^2$, $Z_x = 2750\ cm^3$ (too big)

S.I.B 380 $- A = 107\ cm^3$, $Z_x = 1260\ cm^3$ (too small)

Try S.I.B 475 : $A = 163\ cm^2$, $Z_x = 2380\ cm^2$, $r_x = 18.6\ cm$,

$r_y = 3.6\ cm$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{1000}{18.6} = 54, \quad \frac{L_{by}}{r_y} = \frac{400}{3.6} = \underline{111}$$

$$f_{pb} = \frac{7000000}{(111)^2} = 568\ kg/cm^2$$

$$\omega = \frac{1300}{568} = 2.29$$

$$f_{act} = -\frac{70\,000}{163} \times 2.29 \pm \frac{800\,000}{2380}$$

$$= -983 \pm 336 = -1319\ kg/cm^2 \sim 1300\ kg/cm^2 \qquad O.K.$$

$$and\ -647\ kg/cm^2$$

مقارنة :

B.F.I. 280 $w = \underline{113}\ kg/m'$

S.I.B. 475 $w = 128\ kg/m'$

مثال (٧ ـ ١٠) ـ المطلوب اختيار مقطع لعمود يحمل ٢٠,٠٠ طنا ومعرض لعزم حني مقداره ٨,٠٠ طن متر وحيث طول التحنيب في أحد الاتجاهين ١٠,٠٠ أمتار وفي الاتجاه الآخر ٤,٠٠ أمتار .

$$Let\ f_p = 1300\ kg/cm^2$$

for N : $500\ kg/cm^2$ — for M : $800\ kg/cm^2$

$$A \sim \frac{20\,000}{500} \times 1.5 \qquad Z \sim \frac{800\,000}{800}$$

$$\sim 60\ cm^2 \qquad \sim 1000\ cm^3$$

أولا ـ مقطع I عريض الشفة :

B.F.I. 180 : $A = 65.3\ cm^2$, $Z = 426\ cm^3$ (too small)

B.F.I. 260 : $A = 118\ cm^2$, $Z = 1150\ cm^3$ (too big)

Try B.F.I 240 : $A = 106\ cm^2$, $Z = 938\ cm^3$ $r_x = 10.3\ cm$

$r_y = 6.03\ cm$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{1000}{10.3} = \underline{97} \qquad \frac{L_{by}}{r_y} = \frac{400}{6.03} = 66$$

$$f_{pb} = 1300 - 0.06 + 97^2 = 735\ kg/cm^2$$

$$\omega = \frac{1300}{735} = 1.77$$

$$f_{act} = \frac{20000}{735} \times 1.77 \mp \frac{800000}{938}$$

$$= -334 \mp 853$$

$$= -1187\ kg/cm^2 < 1300\ kg/cm^2 \quad O.K.$$

$$and\ +519\ kg/cm^2 \qquad Tension$$

ثانيا ـ مقطع I عادي :

$S.I.B\ 360 : A = 86.7\ cm^2,\ Z = 1000\ cm^3$ ~

$Try\ S.I.B\ 380 : A = 107\ cm^2,\ Z = 1260\ cm^3,\ r_x = 15.0\ cm,\ r_y = 3.02\ cm$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{1000}{15.0} = 67 \qquad \frac{L_{by}}{r_y} = \frac{400}{3.02} = \underline{132}$$

$$f_{pb} = \frac{7000000}{(132)^2} = 402\ kg/cm^2$$

$$\omega = \frac{1300}{402} = 3.23$$

$$f_{act} = -\frac{20000}{107} \times 3.23 \mp \frac{800\,000}{1260}$$

$$= -604 \mp 635$$

$$= -1239\ kg/cm^2 < 1300\ kg/cm^2\ O.K$$

$$and\ +31\ kg/cm^2 \quad Tension$$

ملحوظة هامة : في هذا المثال حيث عزم الحني قيمته كبيرة بالنسبة للحمل الرأسي نشأت جهود شد في أحد جانبي المقطع ، وإن كانت غير كبيرة ، وسنبين في المثال رقم (٧ ـ ١٢) تأثير ثقوب المسامير على الجهود الفعلية ، إذ زادت قيمة كل من جهود الضغط وجهود الشد .

ب ـ المقاطع المبنية :

مثال (٧ ـ ١١) ـ في المثال (٧ ـ ٩) ، المطلوب اختيار مقطع مكون من مجرتين متواجهتين .

$N = 70.0\ t \quad M = 8.00\ t.m$

$L_{by} = 10.00\ m \quad L_{bx} = 4.00\ m$

هنا نبدأ باختيار عرض المقطع وليكن ٤٠ سم ومنه نفرض البعد بين مركزي العنصرين وليكن ٣٥سم

$$Force / [\sim \frac{20.0}{2} + \frac{800}{35} = 58.0\ t$$

بافتراض الجهد في مركز العنصر $1100\ kg/cm^2$

$$A_{req} = \frac{58\,000}{1100} = 53\ cm^2$$

Try [280 :

$A = 53.3\ cm^2,\ I_x = 6280\ cm^4,\ r_x = 10.9\ cm$

$e = 2.36\ cm,\ I_y = 329\ cm^4,\ r_y = 2.74\ cm$

for 2 [ˢ

$$r_Y = \sqrt{(2.74)^2 + (17.64)^2} = 17.85\ cm$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{400}{10.9} = 36.7$$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{1000}{17.85} = \underline{56.0}$$

$$\frac{L_z}{r_z} = \frac{2}{3} \times 56 = 37.3 = \frac{L_z}{2.74}$$

$L_z = 102\ cm$

$$\lambda_y = \sqrt{(56.0)^2 + (37.3)^2} = 67$$

$$f_{pb} = 1300 - 0.06\,(67)^2 = 1030\ kg/cm^2$$

شكل (٧ ـ ٥٣)

$$\omega = \frac{1300}{1030} = 1.26$$

$$I_Y = 2\,(329 + 53.3 \times 17.64^2) = 33\,829\ cm^4$$

$$Z_y = \frac{33\,829}{20} = 1691\ cm^3$$

$$f_{act} = -\frac{70\,000}{2 \times 53.3} \times 1.26 \pm \frac{800\,000}{1691}$$

$$= -827 \mp 473$$

$$= -1300\ kg/cm^2 \qquad O.K.$$

$$and\ -354\ kg/cm^2$$

مثـال (٧ - ١٢) - في المثـال (٧ - ١٠)، المطلوب اختيار مقطع مكون من مجرتين متواجهتين :

$N = 20.0\ ton \quad M = 800\ t.\ cm$

$L_{by} = 10.00\ m \quad L_{bx} = 4.00\ m$

$Let\ b = 40\ cm \qquad and \quad d = 35\ cm$

$$Force / [\sim \frac{200}{2} + \frac{800}{35} = 33.0\ t$$

$$Areq \cong \frac{33\,000}{1200} = 27.5\ cm^2$$

Try [200

$A = 32.2\ cm^2,\ e = 2.01\ cm,\ I_y = 148\ cm^4,\ r_x = 7.70\ cm$

$r_y = 2.14\ cm$

for 2 [s :

$$r_Y = \sqrt{(2.14)^2 + (17.86)^2} = 18.0\ cm$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{400}{7.7} = 52 \qquad \frac{L_{by}}{r_y} = \frac{1000}{18} = 55.6$$

$$\frac{L_z}{r_z} = \frac{2}{3} \times 55.6 = 37$$

$L_2 = 37 \times 2.14 = 79$,

$\lambda_y = \sqrt{(55.6)^2 + (37)^2} = 67$

$f_{pb} = 1300 - 0.6 \times 67^2 = 1031\ kg/cm^2$

$\omega = \dfrac{1300}{1031} = 1.26$

$I_y = 2\,(148 + 32.2 \times 17.86^2) = 20\,838\ cm^4$

$Z_y = \dfrac{20\,838}{20} = 10\,426\ cm^3$

$f_{act} = -\dfrac{20\,000}{2 \times 3202} \times 1.26 \mp \dfrac{800\,000}{1042}$

$= -391 \mp \underline{768}$

$= -1159 \quad kg/cm^2$ (May be low)

and $+377 \quad kg/cm^2$ Tension

سندرس الآن تأثير وجود ثقوب في شفتي المجرة .

أ ـ نفرض أن الثقوب في كلا المجرتين بذلك يكون المقطع متماثلا :

$A_{net} = 2\,(32.2 - 2 \times 1.7 \times 0.85) = 58.6\ cm^2$

$Net\ I_y = 20838 - 4 \times 1.7 \times 16.0^2 = 19\,355\ cm^4$

$Z_{net} = \dfrac{19355}{20} = 967.8\ cm^3$

$f_{act} = -\dfrac{20000}{58.6} \times 1.26 \pm \dfrac{800\,000}{967.8}$

$= -430 \pm \underline{827}$

$= -1257 \quad kg/cm^2$ O.K.

and $+397$ Tension

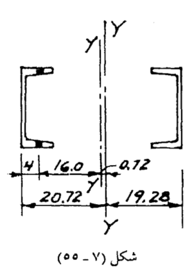
شكل (٧ ـ ٥٤)

فإذا كان خصم الثقوب جهة الشد فقط ، وهذاهو الحل الدقيق ،

أصبح المقطع غير متماثل ، ونبدأ بحساب مركز المقطع :

$$A_{net} = 2 \times 32.2 - 2 \times [illegible] \times 0.85 = [illegible]1.5\ cm^2$$

$$e' = \frac{2 \times 1.7 \times 0.85 \times [illegible]6}{64.4} = 0.72\ cm$$



شكل (٧ ـ ٥٥)

$$Net\ I_y = 20\,838 + 64.4 \times 0.72^2 - 2.9 \times 16^2$$

$$= 20\,125\ cm^4$$

$$f_{act} = -\frac{20\,000}{61{,}5} \times 1.26 - \frac{800\,000 \times 19.28}{20\,125}$$

$$= -410 - \underline{\underline{766}} = -1176\ kg/cm^2$$

$$f_{act} = -\frac{20\,000}{61{,}5} \times 1.26 + \frac{800\,000 \times 20.72}{20\,125}$$

$$= -410 + \underline{\underline{824}} = +414\ kg/cm^2$$

إذا قارنا قيم الجهود لوجدنا أنه في مقطع معرض لعزم حني وبإحدى الشفتين ثقوب دون الأخرى فإنه يمكن حساب جهد الضغط باعتبار المقطع كله

عاملا (قارن الرقمين 766, 768) وحساب جهد الـ . باعتبار أن المقطع يحوي ثقوبا في كلتي الشفتين (قارن الرقمين 824, 827) . وفي هذا طبعا تسهيل حسابي حيث أن حساب المقطع غير المتماثل أكثر مشقة من حساب المقطع المتماثل . ويلاحظ أنه يمكن مسبقا معرفة إذا كانت إحدى جهتي المقطع معرضة لشد من معاينة المعادلة :

$$Force = \frac{M}{2} \pm \frac{N}{d} \qquad (7-22)$$

حيث تكون قيمة $\frac{M}{d}$ أكبر من قيمة $\frac{N}{2}$.

مثال (٧ - ١٣) - في المثال (٧ - ١٠) ، المطلوب اختيار مقطع مكون من ٤ زوايا

Try L 120 × 11

$A = 25.4\ cm^2 \quad r_x = 3.66\ cm$

$e = 3.36\ cm \quad r_z = 2.35\ cm$

$I_x = 341\ cm^4$

$r_y = \sqrt{3.66^2 + 16.64^2} = 17\ cm$

$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{1000}{17} \approx 59$

$\frac{L_z}{r_z} = \frac{2}{3} \times 59 = 39$

$L_z = 39 \times 2.35 = 92\ cm$

$\lambda_y = \sqrt{(59)^2 + (39)^2} = 71$

$f_{pb} = 1300 - .06 \times (71)^2 = 998\ kg/cm^2$

$\omega = \frac{1300}{998} = 1.30$

$I_y = 4\,(341 + 25.4 \times 16.64^2) = 29496\ cm^4$

$Z = \frac{29496}{20} = 1475\ cm^3$

شكل (٧ - ٥٦)

$$f = -\frac{70\,000}{4 \times 25.4} \times 1.3 \pm \frac{800\,000}{1475}$$

$$= -896 \pm 542$$

$$= -1438 \quad kg/cm^2 \quad N.G.$$

بمقارنة المثالين (٧ - ١١) و (٧ - ١٣) يتبين أن استعمال المجرتين أكثر اقتصادا لسببين :

١ - أن الجهد في المجرتين مسموح به ، وليس كذلك للزوايا . وبذلك تجب زيادة المقطع ، إما باستعمال زوايا أكبر أو زيادة البعد بين الزوايا .

٢ - أن مقطع الزوايا يحتاج إلى أربطة في كلا الاتجاهين، كما أنها في الاتجاه الطويل ستكون أطول . هذا وإذا لم يتيسر وجود المقاطع المجرة فإنه يمكن استعمال نفس الزوايا في المثال رقم ١٣ على أن يزاد البعد بينها من ٤٠ سم إلى ٤٥ سم مثلا

$$r_y = \sqrt{3.66^2 + 19.14^2} = 19.49\ cm$$

$$\frac{L_{by}}{r_y} = \frac{1000}{19.49} = 51$$

$$\frac{L_z}{\ } = \frac{2}{3} \times 51 = 34$$

$$L_z = 34 \times 2.35 = 80$$

$$\lambda_y = \sqrt{51^2 + 34^2} = 61$$

$$f_{pb} = 1300 - .06 \times 61^2 = 1077\ kg/cm^2$$

شكل (٧ - ٥٧)

$$\omega = \frac{1300}{1077} = 1.2$$

$$I_y = 4\,(341 + 25.4 \times 19.14^2) = 38584\ cm^4$$

$$Z = \frac{38\,584}{22.5} = 1715\ cm^3$$

$$f_{act} = \frac{70\,000}{101.6} \times 1.2 \pm \frac{800\,000}{1715}$$

$$= -827 \pm 466$$

$$= -1293\ kg/cm^2 \qquad O.K.$$

$$and\ -361\ kg/cm^2$$

للحصول على عرض المقطع :

يجب ألا تزيد نسبة النحافة في اتجاه x-x عنها في اتجاه y-y

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = 51 \quad \therefore r_x = \frac{400}{51} = 7.84\ cm$$

$$r_x \simeq .43\,h \quad \therefore h = \frac{7.84}{.43} = 18.2\ cm$$

من غير المعقول أن تقل عن ٢٢ سم ـ عرض رجلي الزاويتين فلنأخذها ٢٢ أو أكثر قليلا ، ولتكن $\therefore h = 25\ cm$

مثال (٧ ـ ١٤) ـ في المثال (٧ ـ ١٢) المطلوب اختيار مقطع مكون من ٤ زوايا

$$N = 20.0\ t \qquad M = 800\ tcm$$

$$L_{by} = 10.0\ m \quad L_{bx} = 4.00\ m$$

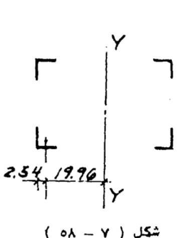
$$Let \quad b = 45\ cm$$

$$Force/2L^s \sim -\frac{20.0}{2} \pm \frac{800}{40}$$

$$= -10 \pm 20$$

$$= -30.0\ t,\ +10.0\ t$$

$$Area = \frac{30\,000}{1100} = 27.3\ cm^2$$



شكل (٧ ـ ٥٨)

$$Try\ L\ 90 \times 90 \times 9$$

$$A = 15.5\ cm^2 \quad e = 2.54\ cm$$

$$I_x = 116\ cm^4 \quad r_x = 2.74\ cm \quad r_z = 1.76\ cm$$

$$r_y = \sqrt{2.74^2 + 19.08^2} = 20.14\ cm$$

$$\frac{L_y}{r_y} = \frac{1000}{20.14} = 49.6$$

$$\frac{L_z}{r_z} = \frac{2}{3} \times 49.6 = 33$$

$$L_z = 33 \times 2.54 = 84\ cm$$

$$\lambda_y = \sqrt{49.6^2 + 33^2} = 59.6$$

$$f_{pb} = 1300 - 06 \times 59.6^2 = 1087\ kg/cm^2$$

$$\omega = \frac{1300}{1087} = 1.2$$

$$I_y = 4\,(116 + 15.5 \times 19.14^2) = 23641\ cm^4$$

$$Z_y = \frac{23641}{22.5} = 1051\ cm^3$$

$$f_{act} = -\frac{20\,000}{4 \times 15.5} \times 1.2 \pm \frac{800\,000}{1051}$$

$$= -387 \pm 761$$

$$= -1148\ kg/cm^2$$

$$and\ +374\ kg/cm^2$$

ملحوظة : الزوايا ٨٠ × ٨ غير كافية ، إذ الجهود فيها
-1364 و $+396\ kg/cm^2$

والآن لندرس تأثير وجود ثقوب في الزوايا ، وليكن ذلك في شفة واحدة فقط ، وسنفترض الوضع الأسوأ وهو أن تكون الثقوب في الشفة البعيدة المراوية

$$A_{net} = 4 \times 15.5 - 4 \times 0.9 \times 1.7 = 55.9\ cm^2$$

$$I_Y\,net = 23641 - 4 \times 0.9 \times 1.7 \times 22.0^2 = 20680\ cm^4$$

$$Z_Y\,net = \frac{20680}{22.5} = 919\ cm^3$$

$$f_{act} = -\frac{20000}{55.9} \times 1.2 \pm \frac{800000}{919}$$

$$= -429 \pm 871$$

$$= -1299 \quad kg/cm^2$$

$$+442 \quad kg/cm^2$$

وتكون القيم الفعلية للجهد في المقطع ذي الثقوب في جهة الشد فقط :

$$A_{net} = 4 \times 15.5 - 2 \times 0.9 \times 1.7 = 58.94\ cm^2$$

$$f_{act} = \frac{20000}{58.94} \times 1.2 - \underline{761} = -1168\ kg/cm^2$$

$$f_{act} = -\frac{20000}{58.94} \times 1.2 + \underline{871} = +464\ kg/cm^2$$

مثال (٧ ـ ١٥)ـ في المثال (٧ ـ ١٠) ، المطلوب اختيار مقطع على شكل I ملحوم

$$P = 20.0\ t \qquad M = 800\ tcm$$

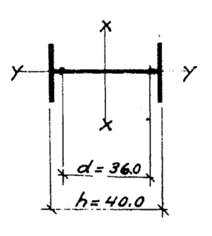
$$L_{bx} = 1000\ cm \qquad L_{by} = 400\ cm$$

لنأخذ عمق المقطع 40.0 cm

نفرض البعد بين مركزي الكتلتين = 36.0 cm

القوة عند كل كتلة $$P = \frac{20.0}{2} + \frac{800}{36}$$

$$= 32.0\ ton$$



شكل (٧ - ٥٩)

مساحة كل كتلة $A = \frac{32\,000}{1100} = 29\ cm^2$

هذه المساحة ليست في مركز الشفة إذ أنها تمثل مقطعا على شكل T ، ولكن ساقه ليست كامل نصف الجذع ، فالجذع وإن كان يساعد في مقاومة القوة الخارجية العمودية ، إلا أنه قليل الفاعلية في مقاومة عزم الحني . وقد سبق أن أوضحنا أن الجذع يقاوم ١٥٪ فقط من عزم الحني وأوضحنا أيضا أنه إذا اعتبرنا طريقة مساحة الشفة فإن $\frac{1}{6}$ الجذع فقط يدخل ضمن تلك المساحة . يتضح من هذا أنه ليس من السهل اختيار ذلك المقطع ، وعلينا بالتجربة :

Try Flange plate 240 × 10

Web plate 380 × 8

$$\text{Chosen Flange area} = 24.0 \times 1.0 + \frac{1}{6} \times 38.0 \times 0.8 = 29\ cm^2$$

والآن نحصل على خصائص المقطع :

$$A = 2 \times 24.0 \times 1.0 + 38.0 \times 0.8 = 78.4\ cm^2$$

$$I_x = \frac{0.8 \times 38^3}{12} + 2 \times 24.0 \times 1.0 \times 19.5^2$$

$$= 3658 + 18252 = 21910\ cm^4$$

$$I_y = 2 \times 1.0 \times \frac{24^3}{12} = 2304\ cm^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{21\,910}{78.4}} = 16.72\ cm\ ,\ r_y = 5.42\ cm$$

$$\frac{L_{bx}}{r_x} = \frac{1000}{16.72} = 60\ ,\ \frac{L_{by}}{r_y} = \frac{400}{5.42} = 74$$

$$Z_x = \frac{21910}{20} = 1096\ cm^3$$

$$f_{pb} = 1300 - 0.06 \times (74)^2 = 971\ kg/cm^2$$

$$\omega = \frac{1300}{971} = 1.34$$

$$f_{act} = -\frac{20\,000}{78.4} \times 1.34 \pm \frac{800\,000}{1096}$$

$$= -355 \pm 730$$

$$= -1085, +375\ kg/cm^2$$

ويبدو أن هذا المقطع أكبر مما يلزم .

لنجرب المقطع بعد تغيير لوح الشفة إلى 240×8

$$A = 68.8\ cm^2$$

$$I_x = 18104\ cm^4\ ,\ I_y = 1843\ cm^4$$

$$r_x = 16.2\ cm\ ,\ r_y = 5.17\ cm$$

$$\frac{Lb_x}{r_x} = 62\ ,\ \frac{Lb_y}{r_y} = 77$$

$$Z_x = 993\ cm^3$$

$$f_{pb} = 1300 - .06 \times (77)^2 = 944\ kg/cm^2$$

$$\omega = \frac{1300}{944} = 1.38$$

$$f_{act} = -\frac{20\,000}{68.8} \times 1.38 \pm \frac{800\,000}{933}$$

$$= -401 \pm 857$$

$$= -1258\ ,\ +456\ kg/cm^2$$

(المقطع مناسب) .

مثال(٧ ـ ١٦) ـ لحساب الاشرطة للعمود في المثال (ه) ، الذي يحمل ٥٥,٠ طنا والمكون من مجرتين 200] 2 .

طول الشريط $L_b = L = \sqrt{(43)^2 + (31)^2} = 53\ cm$

$$\sin\,\alpha = \frac{31}{53} = 0.58$$

القوة الجانبية $Q = 0.02 \times 55.0 = 1.1\ t$

القوة في الشريط $S_D = \pm\ \dfrac{1100}{2 \times 0.58} = \pm\, 950\ kg$

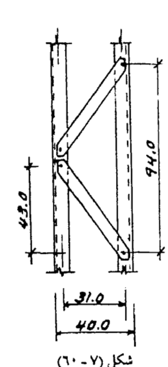
أ ـ الخوصة

$$t_{min} = \frac{53}{40} = 1.4\ cm$$
$$b_{min} = 3 \times 1.4 = 4.2\ cm\ (Rivets\ \phi\ 14)$$

الحساب بوصفها عضو ضغط :

$$r = \frac{1.4}{\sqrt{12}} = 0.4\ cm$$

$$\frac{L}{r} = \frac{53}{0.4} = 133$$



شكل (٧ - ٦٠)

$$f_{pb} = \frac{7\,000\,000}{(133)^2} = 396\ kg/cm^2$$

$$A_{req} = \frac{950}{396} = 2.4\ cm^2$$

يؤخذ الشريط $45 \times 14\ (A = 6.3\ cm^2)$

$$f_{act} = \frac{900}{6.3} = 151\ kg/cm^2$$

التدقيق في حالة الشد :

$$A_{net} = (45 - 1.4) \times 1.4 = 4.34\ cm^2$$

$$f_{act} = \frac{950}{4.34} = 219\ kg/cm^2$$

يكفي استخدام برشام واحد قطر ١٤ مم $(R_{ss} = 1509\ kg)$

٥ ـ الزاوية

$r_{min} = 0.87\ cm$, $A = 4.3\ cm^2$, Min $L\ 45 \times 45 \times 5$

$$\frac{L}{r} = \frac{53}{0.87} = 61$$

$$f_{pb} = 1077\ kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{950}{4.3} = 221\ kg/cm^2 \quad O.K.$$

على أنه يمكن استخدام الزاوية غير المتساوية $L\ 45 \times 30 \times 5$
(ان وجدت)

$A = 3.53\ cm^2 \quad r_{min} = 0.64\ cm)$

$$\frac{L}{r} = 84,\ f_{pb} = 877\ kg/cm^2,\ f_{act} = 255\ kg/cm^2$$

$A_{net} = 3.53 - 1.4 \times .5 = 2.83\ cm^2$

$f = \frac{950}{2.83} = 318\ kg/cm^2$

ويتضح من هذا المثال أن الزاوية أكثر اقتصادا من الخوصة ـ بالإضافة إلى أنها أكثر جساءة ومقدرة .

مقدرة الخوصة 14×45:

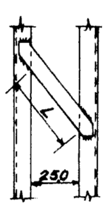
$A \times f_{pb} = 6.3 \times 396 = 2495\ kg$

مقدرة الزاوية $5 \times 30 \times 45$:

$= 3.53 \times 877 = 3096\ kg$

الشرائط الملحومة

يمكن في حالة لحام الشريط اختصار طوله إذ قد يصل إلى $0.8 - 0.9\ L$ وبذلك يمكن أن يقل سمك الخوصة وعرضها . كما يمكن استخدام زاوية أصغر (شكل ٧ ـ ٦١)



شكل (٧ ـ ٦١)

ففي المثال السابق يمكن استخدام خوصة 12×30 مساحتها $3.6\ cm^2$

$$r = \frac{1.2}{\sqrt{12}} = 35 \quad \frac{L}{r} = \frac{43}{35} = 123$$

$f_{pb} = 463\ kg/cm^2; fact = 264\ kg/cm^2$

كما يمكن استخدام زاوية $4 \times 40 \times 40$ مساحتها $3.08\ cm^2$

مثال ٨ ـ لحساب ألواح التقوية اللازمة للعمود السابق (أخذ الطول $(L_z = 79\ cm$

القوة الأفقية المؤثرة على العمود $950\ kg$

القوة عند كل مفصل : $\frac{950}{4} \cong 240\ kg$

القوة الرأسية : $V = \frac{2 \times 240 \times 98.5}{31} = \pm 1525\ kg$

= قوة القص في اللوح

عزم الحني في اللوح : $M = 1525 \times \frac{31}{2} = 23638\ kg\ cm$

عزم مقاومة البراشيم الأربعة : $H_2 = \frac{H_1}{3}$

$$H_1 \times 19.5 + \frac{H_1}{3} \times 6.5 = 21.7\ H_1$$

$$H_1 = \frac{23638}{21.7} = 1094\ kg$$

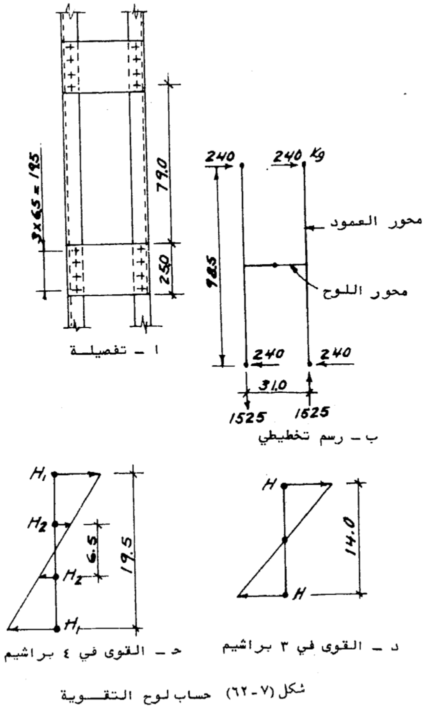
$$V = \frac{1525}{4} = 381\ kg$$

$$Res = \sqrt{(1094)^2 + (381)^2} = 1158\ kg$$

$$< 1509\ kg$$

$(R_{ss}\ for\ Rivet\ \phi\ 14)$

سمك لوح التقوية . $t = \frac{31}{40} = 8\ mm$



شكل (٧ - ٦٢) حساب لوح التقـــوية

حساب الجهد في لوح التقوية :

$$Z_{net} = \frac{0.8 \times 25^2}{6} \times 0.85 = 71\ cm^3$$

$$f_{act} = \frac{23638}{71} = 333\ kg/cm^2 \quad O.K.$$

$$H = \frac{22320}{14} = 1594\ kg$$

$$V = \frac{1525}{3} = 504\ kg$$

$$Res = \qquad = 1672\ kg$$

نحتاج لبرشام قطر 17 mm .

إذا افترضنا ٣ براشيم بدلا من أربعة :

$$V = \pm \frac{2 \times 240 \times (79 + 14)}{31} = \pm 1440\ kg$$

$$M = 1440 \times \frac{31}{2} = 22320\ kg\ cm$$

$$= H \times 14$$

الفصل الثامن

رؤوس وقواعد الأعمدة

عند تحميل عمود من أعلاه عن طريق كمرة أو جمالون أو عمود آخر يلزم تزويد قمة العمود برأس (Cap) . وغالبا ما تنقل الرأس أحمالا رأسية ، كما قد تنقل عزم حني (شكل ٨ ـ ١) .

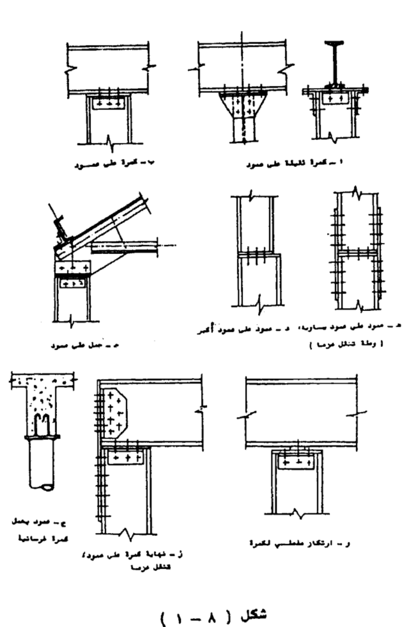
ولكي ينتقل ما يتعرض له عمود من مؤثرات عند أسفله ، من أحمال أو قوى أو عزوم حني إلى الأساس أو إلى عضو آخر يحمله مثل كمرة أو عمود آخر ، يلزم لذلك العمود قاعدة *(Base)* .

والفكرة في كل من الرأس والقاعدة واحدة وهي نقل المؤثرات إلى العضو الحامل، فيلزم لرأس العمود لوح الرأس (*Cap plate*) كما يلزم لقاعدة العمود لوح القاعدة (*Base plate*) .

ولنقل الحمل من لوح الرأس إلى العمود أو من العمود إلى لوح القاعدة طريقتان ، وسنقصر كلامنا على القواعد باعتبارها أعم .

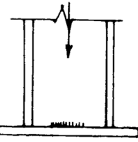
أولا ـ التحميل المباشر *(Direct Bearing)* .

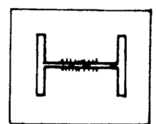
في هذه الحالة يقشط سطح مقطع العمود عموديا على محوره كما يقشط سطح اللوح الذي سيلامس مقطع العمود بحيث أن كل نقطة في المقطع تجد لها مرتكزا على اللوح .


ب - كمرة على عمود
أ - كمرة ثقيلة على عمود
جـ - جمل على عمود
د - عمود على عمود أكبر
هـ - عمود على عمود مساوية، (وصلة تنقل عزما)
ح - عمود يحمل كمرة خرسانية
ز - نهاية كمرة على عمود، تنقل عزما
و - ارتكاز مفصلي لكمرة

شكل (٨ - ١)

فإذا كان العمود محملا تحميلا محوريا انتقل الحمل مباشرة من العمود إلى اللوح (أو من اللوح إلى العمود) وعندئذ يكون ارتباط العمود باللوح بشريط قصير من اللحام ليقاوم ما قد تتعرض له القاعدة من قوى أفقية غير متوقعة (شكل ٨ - ٢) .





شكل (٨ - ٢)ـ قاعدة مخدومة

ثانيا - الطرق الميكانيكية أي بوسائل الربط من لحام أو براشيم أو مسامير القلاووظ .

وذلك عندما يقطع العمود إما باللهب (*Flame cutting*) وإما بالمنشار (*Saw cutting*) .

ففي حالة قطع العمود باللهب يكون سطح المقطع غير مستو وغير منتظم ولذلك يلزم نقل جميع الحمل من العمود إلى لوح القاعدة بوسائل الرباط .

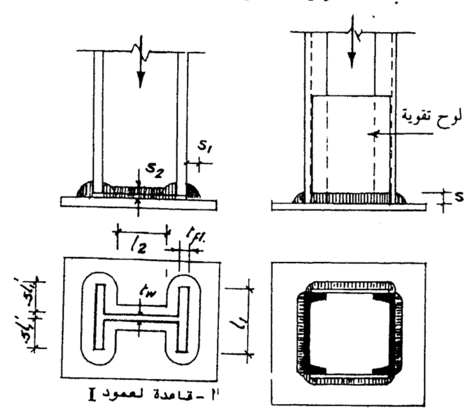
أما إذا قطع العمود بالمنشار ، الذي يجعل سطح المقطع منتظما أو مستويا إلى حد ما ، فإنه يجب نقل ما لا يقل عن ٦٠ ٪ من الحمل على العمود إلى لوح القاعدة بوسائل الرباط .

وهـذه الطريقـة التـي يفضلهـا الكاتـب تخـالف بعض الشيء ما جاء بالمواصفات المصرية إذ تنص على وجوب نقل جميع الحمل من العمود إلى لوح القاعدة إذا لم تكن نهاية العمود وسطح لوح القاعدة مقشوطين ، فإذا كان السطحان مقشوطين وجب نقل ما لا يقل عن ٦٠٪ من الحمل من العمود إلى لوح القاعدة .

أولا ـ القواعد الملحومة

فيها يكون اللحام بين جسم العمود وبين لوح القاعـدة من النـوع الزاوي *(Fillet Weld)* . وينتقل الحمل من العمـود إلى لوح القاعـدة عن طريق مقاومة اللحام للقص على مستويات تَلامُس اللحام مع جسم العمود .

حساب القاعدة مركزية التحميل :



شكل (٨ ـ ٣) ـ القاعدة الملحومة

نبدأ بتحديد أطوال شرائط اللحام على الشفتين والجذع من المعادلة التـالية

$$P = \Sigma\ (l \times s) \times 0.4\ f_{pt} \qquad (8 - 1)$$

وإذا رُئي أن مساحة الشفة أكبر من مساحة الجذع ، كما هو الشأن في المقاطع عريضة الشفة ، مما يتطلب لحاما أقوى ، أي أكبر مقاسا ، على الشفة منه على الجذع فإنه يمكن جعل النسبة بين مقاسي اللحام كالنسبة بين سمك الشفة إلى سمك الجذع . وبذلك تصبح المعادلة :

$$P = 2\ (l_1\ \ s_1 + l_1'\ s_1 + l_2 s_2) \times 0.4\ f_{pt} \qquad (8 - 2)$$

وبوضع : $s_2 = s_1 \times \frac{t_w}{t_{fl}}$

فإن المعادلة تصبح ذات مجهول واحد s_1 .

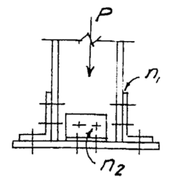
وفي الأعمدة المكونة من عدة عناصر تربطها عند النهايتين ألواح تقوية ، فإن اللحام يعمل حول الأجزاء الظاهرة من العناصر وحول ألـواح التقـوية (شكل ٨ ـ ٣ ب) .

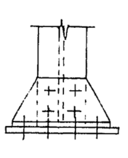
ثانيا ـ القواعد المبرشمة :

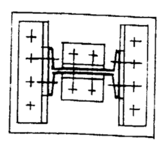
هنا يلزم تدبير سطح كاف لنقل الحمل إلى لوح القاعدة . وتستخدم في هذه الحالة زوايا تسمى زوايا القاعدة (*Base angles*) . وينتقل الحمل أولا من العمود إلى الرجل الرأسية للزاوية الملاصقة لجسم العمود بمسامير تعمل في القص وتكون الرجل الأخرى ملاصقة للوح القاعدة بمسطح كبير يمكن معه انتقال الحمل إلى ذلك اللوح بالتحميل المباشر . والزاويتـان الرئيسيتـان هما اللتان توضعان ملاصقتين لشفتي العمود اللتين تحملان معظم حمل العمود وفي هذه الحالة تعمل المسامير في قص مفرد . فاذا وضعـت زاويتـان ملاصقتـان لجذع العمود فإن مساميرهما تعمل في قص مزدوج .

١ ـ إذا كانت المسامير تعمل كلها في قص مفرد فإن عددها :

$$n = \frac{P}{R_{s.s}} \qquad (8 - 3)$$





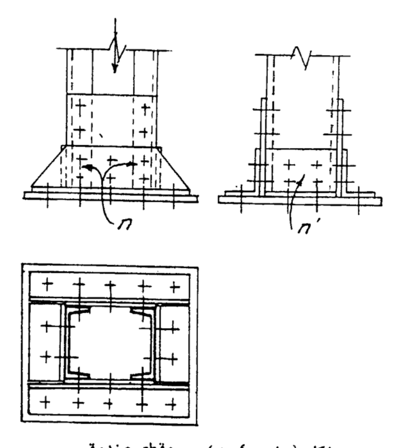


شكل (٨ ـ ٤ أ) ـ مقطع (I)

وإذا رئي إعمال المسامير التي بالجذع فإن المعادلة تصبح :

$$P = n_1 \times R_{ss} + n_2 \times R_{least} \qquad (8 - 4)$$

ويحدّد أولا عدد المسامير n_2 ومقدرتها ثم يحسب عدد المسامير n_1 شكل (٨ ـ ٤ أ) . وفي المقطع الصندوقي تحيط بنهاية العمود زوايا على جوانبه الأربعة وفي هذه الحالة تعمل جميع المسامير في قص مفرد ، $n + n'$ في شكل (٨ ـ ٤ ب) .



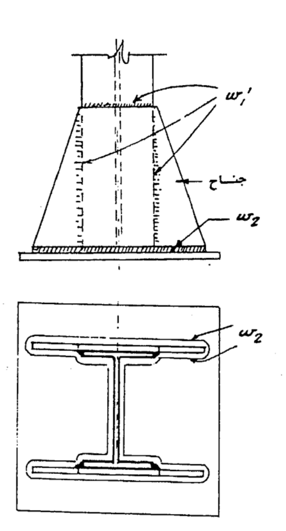
شكل (٨ ـ ٤ ب) ـ مقطع صندوقي

شكل (٨ ـ ٤) ـ القاعدة المبرشمة

القواعد الثقيلة :

إذا كان الحمل الواقع على القاعدة كبيرا بحيث أن مقاس اللحام يكون غير اقتصادي أو أن عدد المسامير التي تربط زوايا القاعدة بالعمود تكون غير كافية فإننا نلجأ إلى استخدام أجنحة . والجناح عبارة عن لوح يأخذ الشكل المناسب لنقل الحمل من العمود إليه ثم من الجناح إلى لوح القاعدة في حالة اللحام وإلى زوايا القاعدة في حالة البرشام .

في القاعدة الملحومة ينتقل الحمل من العمود عن طريق اللحام (w_1) إلى الجناح (شكل ٨ ـ ٥) وينتقل الحمل من الجناح إلى لوح القاعدة عن طريق اللحام (w_2) وسوف تتضح لنا فيما بعد فائدة ألواح الأجنحة عند الحديث عن حساب لوح القاعدة .



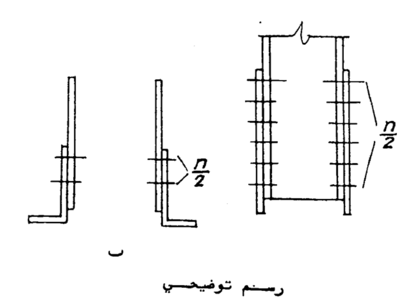
شكل (٨ ـ ٥) قاعدة ملحومة ذات أجنحة

في القاعدة المبرشمة (شكل ٨ ـ ٦) ينتقل الحمل من العمود الى الجناحين عن طريق المسامير (أ) التي تعمل في قص مفرد كما في الرسم التوضيحي شكل (٨ ـ٦أ) .

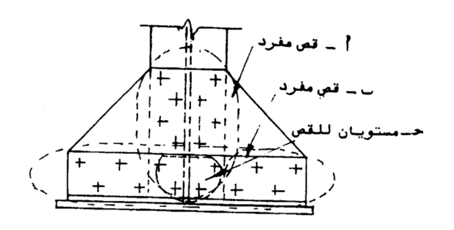
$$n = \frac{P}{R_{ss}} \qquad (8\text{-}3)$$

ومن الجناحين ينتقل الحمل إلى زاويتي القاعدة عن طريق المسامير (ب) التي تعمل في قص مفرد كذلك ، كما في الرسم التوضيحي (٨ ـ ٦ ب). ومعنى هذا أن عدد المسامير (أ) يجب أن يكون مساويا لعدد المسامير (ب) وكلاهما يساوي $\frac{1}{2}n$.

ويبين شكل (٨ ـ ٦ حـ) القاعدة مجمعة حيث ظهرت المسامير (أ) فيما بين العمود والجناح والمسامير (ب) فيما بين الجناح وزاوية القاعدة وكلا المجموعتين (أ) و (ب) تعملان في قص مفرد . ويلاحظ أن هناك المسامير (حـ) فيما بين العمود والجناح وزاوية القاعدة . ولا تعمل هذه المسامير في قص مزدوج ولكنها تعمل في مستويين للقص إذ أنها تعمل أولا فيما بين العمود والجناح ثم فيما بين الجناح وزاوية القاعدة .



رسم توضيحي



حـ ـ رسم القاعدة

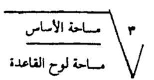
شكل (٨ ـ ٦) حساب القاعدة المبرشمة

مقاس لوح الرأس :

يتوقف مقاس وشكل لوح الرأس على المساحة التي يرتكز بها العنصر المحمول على العمود كما يتوقف على شكل مقطع العمود الحامل نفسه كما يتوقف على الطريقة التي ينتقل بها الحمل إلى العمود ، من لحام أو براشيم (راجع الشكل رقم ٨ ـ ١) .

مقاس لوح القاعدة :

يتوقف مقاس لوح القاعدة أولا على قدرة تحمل مادة الأساس : الخرسانة المسلحة ، والتي تتراوح قدرتها على الضغط بين ٤٠ و ٦٠ كج / سم² في المنشآت العادية ، على أنه يمكن استعمال خرسانات ذات مقدرة عالية أو ذات تسليح خاص مثل التسليح الحلزوني وبذلك ترتفع مقدرة الضغط لها . كما يلاحظ أنه إذا ارتكز العمود على أساس من الخرسانة المسلحة مساحته أكبر من مساحة قاعدة العمود فإن جهد التحميل على الخرسانة يزداد عن جهد الضغط بالنسبة التالية :



$$\sqrt[3]{\frac{\text{مساحة الأساس}}{\text{مساحة لوح القاعدة}}}$$

ويمكن القول إن مساحة لوح القاعدة تتوقف كلية على جهد الضغط المسموح به على مادة الأساس في القواعد الملحومة . أما في القواعد المبرشمة فإنه يتحكم في مساحة لوح القاعدة مقاس زاويتي القاعدة ولوحي الجناح .

أولا ـ القاعدة الملحومة :

في هذه الحالة تحسب مساحة لوح القاعدة من المعادلة :

$$A = \frac{P}{f_b^c} \qquad (8-5)$$

حيث P هو الحمل عند القاعدة

و f_b^c جهد التحميل المسموح به لخرسانة الأساس . ويحدد طول وعرض اللوح من شكل مقطع العمود بحيث يبرز اللوح خارج المقطع مسافات متساوية من جميع الجهات (شكل ٨ ـ ٧) . وبعد اختيار مقاسَيْ اللوح ، أعداداً صحيحة ، يحسب جهد التحميل المعلي على الأساس :

$$f_{b\ act}^{c} = \frac{P}{a \times b} \qquad (8 - 6)$$

والخطوة التالية هي حساب سمك اللوح ، ويدقق القطاعان $I - I$ ، $II\text{-}II$ حيث يحسب عزم الحني باعتبار امتداد اللوح خارج القطاع يعمل بهيئة كابولي . ويلاحظ أن القطاع $II\text{-}II$ في حالة مقطع العمود الذي على شكل I يمتد إلى الداخل نحو ٧ ٪ من عرض الشفة .

ويكون عزم الحني M_1 حول المحور $I\text{-}I$ ، وM_2 حول المحور $II\text{-}II$:

$$M_I = f_b^c \, . \, b \, . \, \frac{c_1^2}{2} \qquad (8 - 7a)$$

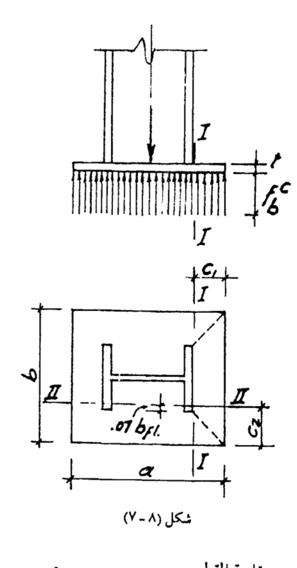
$$M_{II} = f_b^c \, . \, a \, . \, \frac{c_2^2}{2} \qquad (8 - 7b)$$

ونظراً لأن هناك جزءاً مشتركاً من لوح القاعدة للمقطعين فإنه يمكن حساب المقطع باعتبار الجهود المؤثرة على شبه المنحرف الذي يحدده الخطان الواصلان بين الأركان . إلا أنه يمكن بتقريب غير بعيد اعتبار ٨٥٪ أو ٩٠٪ من عزم الحني السابق حسابه .

وفي كل الحالات فإن طول المقطع الذي يقاوم عزم الحني هو كامل طول القطاع ، والمقطع مستطيل الشكل .

وبذلك يكون معاير المقطع $I\text{-}I$:

$$Z_I = \frac{bt^2}{6}$$



شكل (٨ ـ ٧)

ويكون عزم مقاومة المقطع

$$M_R = f_{pt} \cdot \frac{bt^2}{6}$$

وهذا يساوي العزم المؤثر

$$= 0.85\left(f_b^c \cdot b \frac{c_1^2}{2}\right)$$

ومنهما :

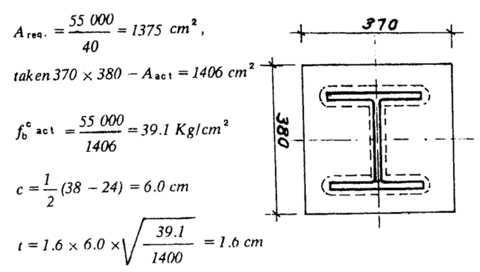
$$t = 1.6\, c \sqrt{\frac{f_b^c}{f_{pt}}} \qquad (8 - 8)$$

فعندما تكون $f_b^c = 40\ Kg/cm^2$ ، $f_{bt} = 1400\ Kg/cm^2$ فإن :

$$t = 0.27\ c \qquad (8 - 9)$$

مثال (٨ ـ ١) ـ المطلوب حساب قاعدة عمود مقطعه $BFI\ 240$ ويحمل عند القاعدة حملاً مركزياً قدره ٥٥,٠٠ طنا .

أولا ـ القاعدة الملحومة :



$$A_{req.} = \frac{55\ 000}{40} = 1375\ cm^2,$$

$$taken\ 370 \times 380 - A_{act} = 1406\ cm^2$$

$$f_{b\ act}^{c} = \frac{55\ 000}{1406} = 39.1\ Kg/cm^2$$

$$c = \frac{1}{2}(38 - 24) = 6.0\ cm$$

$$t = 1.6 \times 6.0 \times \sqrt{\frac{39.1}{1400}} = 1.6\ cm$$

$\therefore$ *Base plate* : $370 \times 16 \times 380$

ينتقل ٤٠٪ من الحمل على العمود الى لوح القاعدة بالتحميل المباشر والباقي ينتقل عن طريق اللحام الزاوي . تحسب أطوال اللحام :

$$2 \times 24 + 4 \times 11 + 2 \times 18 = 128\ cm$$

$$0.60 \times 55\ 000 = 128.0 \times s \times 0.4 \times 1400$$

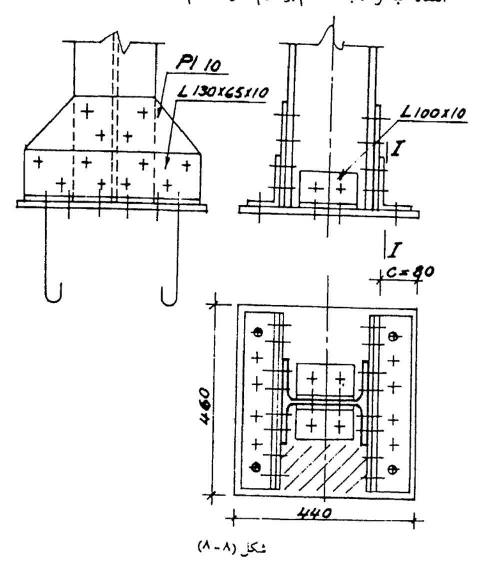
$$s = 0.46\ cm$$

Use 5 mm

ثانياً ـ القاعدة المبرشمة .

هنا تحسب البراشيم اللازمة لنقل الحمل من العمود إلى اللوحين الجانبين (الجناحين) ومن الجناحين إلى زاويتي القاعدة :

سوف نعتبر هنا أن ٤٠٪ من الحمل ينتقل من العمود إلى لوح القاعدة انتقالاً مباشراً ، باستخدام براشيم قطر ١٧ مم



شكل (٨ ـ ٨)

$$R_{s.s} = \frac{\pi \times (1.7)^2}{4} \times 980 = 2224\ Kg$$

$$n = \frac{0.6 \times 55\,000}{2224} = 14.8 \qquad \text{taken } 16$$

$$A_{req} = \frac{55\,000}{40} = 1375\ cm^2$$

تُوَضَّب البراشيم في زاوية القاعدة ، التي يتم اختيارها لتتسع لصفين من البراشيم في الرجل الرأسية ، وتؤخذ في العادة زاوية غير متساوية ، وبذلك يتحدد مقاس لوح القاعدة.

من الرسم يتضح أن مقاس لوح القاعدة 460×440 ومساحته :

$2024\ cm^2$ وهي أكبر كثيراً من المطلوب .

$$f_b^c{}_{act} = \frac{55\,000}{2024} = 27.0\ Kg/cm^2$$

المقطع الحرج هنا هو $I\text{-}I$ ويشمل سمك رجل زاوية القاعدة مضافاً إليه سمك لوح القاعدة.

$$M = \frac{46.0 \times 27.0 \times (8.0)^2}{2} = 19\,870\ kgcm$$

$$Z_{req} = \frac{19\,870}{1400} = 14.19\ cm^3$$

$$t = \sqrt{\frac{14.19 \times 6}{46}} = 1.36\ cm$$

$t_{pl} = 1.36 - 1.00 = 0.36$ سمك لوح القاعدة

taken 10 mm (ليس أقل من ذلك)

$\therefore$ Base plate : $440 \times 10 \times 460$

إذا نظرنا إلى الجزء المهشر من لوح القاعدة وجدنا أنه على هيئة بلاطة مرتكزة على ثلاثة أحرف ، وتعتبر البلاطة مستمرة في هذه الاتجاهات ، بينما حرفها الرابع حر شكل(٨ ـ ٩) والمطلوب التحقق من مقاومة هذا الجزء من اللوح لعزم الحني . ويمكن استعمال قيم معاملات توزيع الأحمال في الاتجاهين التي تستعمل في بلاطات الخرسانة المسلحة ، كما في جدول (٨ ـ ١) :

جدول ٨ ـ ١

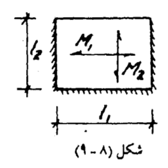
l_2/l_1	>2	2	1.4	1.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
α	.133	.132	.126	.120	.112	.107	.097	.088	.074	.060

$$M_1 = \alpha f_b^c \; l_1^2$$

$$If \frac{l_2}{l_1} < 0.5 :$$

$$M_1 = 0 \qquad M_2 = 0.5 f_b^c \, l_2^2$$

أي أن هذا الجزء من اللوح يعتبر بهيئة كابولي .



شكل (٨ ـ ٩)

ملحوظة ـ في القاعدة المبرشمة يجب ربط زوايا القاعدة بلوح القاعدة ، لئلا ينزلق العمود ، وهذا أمر ثانوي . فإذا نظرنا إلى المقطع *I-I* المكون من سمكين نرى أنه لكي يعمل السمكان معاً ، كما حسبناهما كذلك ، يجب أن يربطا ، وذلك لمنع انزلاق أحدهما على الآخر .

حساب القاعدة المعرضة لعزم حني

تحسب الجهود الناشئة عن حمل مركزي (P) وعزم حني (M) يؤثران على قاعدة العمود ، أي على سطح الأساس الملاصق للوح القاعدة ، من المعادلة :

$$f_b^c = -\frac{P}{A} \pm \frac{M}{Z} \qquad (8 - 10)$$

حيث

A = المساحة من الأساس التي تلاصق لوح القاعدة الذي مقاسه $a \times b$.

(a هو المقاس في اتجاه عزم الحني)

Z = معاير تلك المساحة .

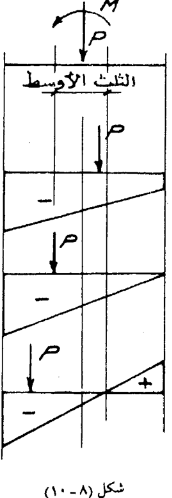
ومنها :

$$f_b^c = -\frac{P}{a\,b} \pm \frac{6M}{ba^2} \qquad (8 - 11)$$

إذا كان لقيمتي f_b^c المسحوبتين من هذه المعادلة نفس الإشارة (شكلي ٨- ١٠ أ و ب) فإن ذلك يعني أن الجهود على سطح الأساس كلها جهود ضغط .

أما إذا اختلفت إشارتا قيمتي f_b^c فإن أحد جانبي اللوح يتعرض لجهود شد (شكل حـ) ويمكن معرفة ذلك مسبقاً وذلك بحساب مقدار انزياح القوة P بتأثير عزم الحني M

إذ $$e = \frac{M}{P}$$



شكل (٨ - ١٠)

١ ـ فإذا وقعت P في الثلث المتوسط للسطح كان توزيع الجهود عليه بشكل شبه منحرف (شكل ٨ ـ ١٠أ)

ويمكن حساب f_b^c من المعادلة

$$f_b^c = -\frac{P}{A}\left(1 \mp \frac{6e}{a}\right) \qquad (8-12)$$

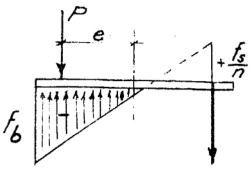
٢ ـ وإذا وقعت P في نقطة الثلث أي أن $e = \frac{a}{6}$ فإن توزيع الجهود على السطح يصبح بشكل مثلث ، وتصبح المعادلة

$$f_b^c = -\frac{2P}{A} \qquad (8-13)$$

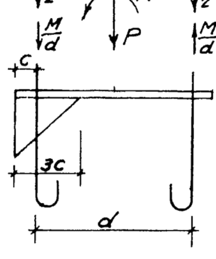
٣ ـ أما إذا خرجت P عن الثلث المتوسط للمساحة فإنه تحدث جهود شد عند أحد جانبي لوح القاعدة ، مما يعني أن حرف اللوح سيرتفع عن سطح الأساس ، وعندئذ لا بد من كبحه أو إرسائه ويكون ذلك باستعمال مسامير الإرساء (**الجاويطات**) . الغرض من الجاويطات هو مقاومة انخلاع اللوح أي مقاومة جهود الشد التي تؤثر على سطح الأساس . وبذلك يشبه سطح الأساس الملاصق للوح القاعدة مقطعاً من الخرسانة المسلحة تؤثر عليه قوة غير مركزية (شكل ٨ ـ ١١) .

أي أنه يمكن حساب جهد الضغط على الأساس ومساحة جاويطات الشد بالطريقة التي يحسب بها مقطع خرساني معرض لقوة ضغط غير مركزية . والمعروف أن المعادلات التي تستخدم في هذه الحالة معقدة ، وأنه تستخدم في حساب مثل هذا المقطع جداول أو مخططات منحنيات .

إلا أنه يمكن استخدام الطريقة التالية ، التي قد تبدو تقريبية إلا أنها تعطي نتائج جيدة:



تزود القاعدة عادة بمجموعتي جاويطات متماثلة في كلا الجانبين . ولما كانت جاويطات الشد تقاوم جهود الشد التي تؤثر على جانب من اللوح فانه يفترض أن جاويطات الضغط تقع في مركز منشور الضغط في الجانب الآخر من اللوح أي أن المؤثرات على اللوح تحولت إلى قوة شد T في مجموعة الجاويطات على أحد جانبي اللوح وقوة ضغط C عند مجموعة الجاويطات على الجانب الآخر حيث:



شكل (٨ - ١١)

$$C = -\frac{P}{2} - \frac{M}{d} \qquad (8 - 14\ a)$$

$$T = \frac{M}{d} - \frac{P}{2} \qquad (8 - 14\ b)$$

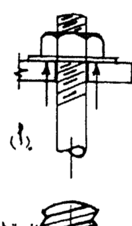
ومن T نحصل على مساحة جاويطات الشد

ومن C نحسب جهد الضغط على خرسانة الأساس من المعادلة

$$C = f_b^c \times \frac{3c}{2} \times b \qquad (8 - 15)$$

ولحساب قاعدة العمود المعرضة لحمل مركزي وعزم حني بهذه الطريقة

يلـزم فرض مقـاس لوح القاعـدة $a \times b$ وكذلك المسافـة d بـين مجموعتـي الجاويطات . ومنها نحصل على مساحة جاويطات الشد ثم جهد الضغط f_b^c على الخرسـانة . فإذا كانت قيمة f_b^c المحسـوبة أعـلا من المسمـوح به أمـكن خفضها إما بزيادة المسـافة c أو عرض اللوح b أو كليهما كما يمكن زيادة طول اللوح فتنخفض بذلك قيمة كل من T و C ، وذلك أن d أصبحت أكبر .



شكل (٨ - ١٢)

الجاويطات *(Anchor Bolts)* :

إن قوة الشد التي تؤثر على الجاويط تنتقـل إليه عن طريق تحميل اللوح على الصامولة ، ومنها تحمَّل على أسنان القلاووظ (شكل ٨ - ١٢ أ) . وبـذلك يكون المقطع الذي يقاوم قوة الشد هو المقطع عند جذر سن القلاووظ (شكل ٨ - ١٢ ب) .

وتكون مساحة الجاويطات المحسوبة لتقـاوم القوة من معادلة الجهد هي المساحة الصافية

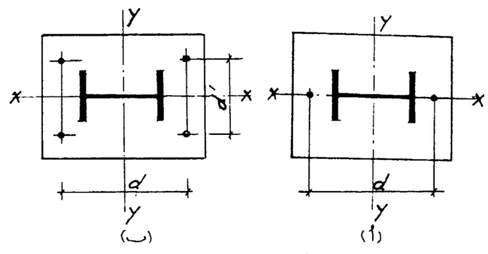
$$A_{net\text{-}req} = \frac{T}{f_{bt}} \qquad (8 - 16)$$

ويفقد جسم المسمار ، بسبب قلوظته ، نحو ٣٠٪ من المساحة الأصلية لمقطعة وذلك للأقطار حتى ٢٥ مم ونحو ٢٥ ٪ للأقطار الأكبر من ذلك ويمكن استعمال هذه النسب إذا لم توجد الجداول التي تعطي القيم الدقيقة . وإذاً :

$$A_{g.req} = \frac{T}{0.7 f_{bt}} \qquad (8 - 17)$$

ويمكن استخدام جاويط أو أكثـر في كل جانـب . ويتـوقف على هذا

الاختيار الحالة الاستاتيكية لنهاية العمود هذه . ففي كلا الشكلين (٨ ـ ١٣ أ وب) يمكن للقاعدة أن تقاوم عزم حني في اتجاه المحور $x - x$ يساوي ما يستطيع الجاويط أن يتحمله مضروباً في البعد بين الجاويطين (d) .



شكل (٨ ـ ١٣)

أما في الاتجاه $y - y$ ، فإنّ نهاية العمود في شكل (٨ ـ ١٣ أ) تُعتبر مفصلية ، بينما في شكل (ب) يمكن للقاعدة مقاومة عزم حني في الاتجاه $y - y$ يساوي ما يستطيع الجاويط أن يتحمله مضروباً في البعد بين الجاويطين d' . وتبعاً لحالة القاعدة في الاتجاه $y - y$ يتوقف طول تجنيب العمود في ذلك الاتجاه .

أوضحنا هنا ضرورة استعمال الجاويطات في مقاومة عزم الحني الذي يؤثر على قاعدة العمود ، كما أشرنا إلى وضع الجاويطات متماثلة بالنسبة للعمود ، إذ أنه يغلب أن تكون عزوم الحني على القاعدة منعكسة .

وبصفة عامة فإن الجاويطات تلزم في جميع قواعد الأعمدة (وكذلك كراسي الكمرات) حتى لو لم تكن تحمل سوى قوة مركزية ، وذلك للأغراض الآتية :

أ ـ المساعدة في أعمال التركيب.

ب ـ مقاومة أية قوى أو مؤثرات خارجية أو هزات متوقعة أو طارئة .

حـ ـ مقاومة قوى القص ـ القوى العمودية على محور العمود ـ والتي تنتقل إلى القاعـدة ، بغض النظـر عن مقاومـة الاحتكاك فيما بـين لوح القاعـدة والأساس .

د ـ مقاومة ما قد يؤثر على القاعدة أو الكرسي من قوى نازعة *(Uplifi)* التي تحدث عندما تتغلب قوى الشد على الأحمال (قوى الجاذبية) .

ومن هنا يجب أن تزود القاعدة (أو الكرسي) التي تؤثر عليها أحمـال رأسية فقط بجاويطين ـ على الأقل ـ لا يقل قطر الواحد منهما عن ١٦مم ولا يقل طوله عن ٤٠ سم .

وهذه امثلة لحساب لوح القاعدة والجاويطات لأعمـدة معرضـة لعـزم حني .

مثال (٨ ـ ٢) ـ المطلوب حساب قاعدة عمود مقطعه *B F I. 240* وتحمل ٢٠ طنا وهي معرضة لعزم حني مقداره ٨,٠٠ طن متر .

بفرض أن جهد التحميل المسموح به على الأساس الخرساني هو $40 kg/cm^2$ ، وأننا سنصل بجهد التحميل إلى هذه القيمة :

أولا : الحل التجريبي

نفرض أن عرض اللوح $b = 50\ cm$ وللحصول على طوله a ، نطبق معادلة الجهد :

$$f_b^c = \frac{N}{A} + \frac{M}{Z}$$

$$40 = \frac{20\,000}{50\,a} + \frac{800\,000 \times 6}{50\,a^2}$$

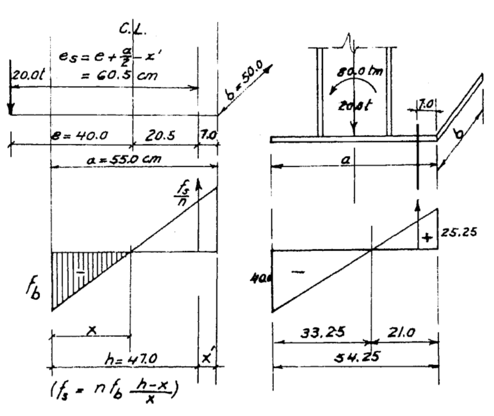
$$a = 54.25\ cm$$

جهد الشد :

$$f_1 = -\frac{20\,000}{50 \times 54.25} + \frac{800\,000 \times 6}{50 \times (54.25)^2}$$

$= 25.25\ Kg/cm^2$

هـذه القيم محسوبـة على أســاس حدوث جهـود ضغـط وكذلك جهود شد أسفـل لوح القاعـدة . ولما كان هذا التأثـير لا يمـكن حدوثه ، فإنه يجب استيعاب قوة الشد بجاويطات تقع في مركز المنشور الثلاثي لجهود الشد .



شكل (٨ - ١٤)

$$T = \frac{25.25 \times 21.0}{2} \times 50 = 13.256\ t$$

$$gross\ A_s = \frac{13\ 256}{0.7 \times 1400} = 13.5\ cm^2$$

taken $3\ \phi\ 25$. $(14,7\ cm^2)$

والآن للتحقــق من أن مقاس لوح القاعدة $50 \times 55cm$ والجاويطــات التــي مساحتهــا $14.7\ cm^2$ تحقق جهـد الضغط على الأساس وجهــد الشد في الجاويطات .

استنتـاج معـادلات التدقيق : .

$$N = C - T$$

$$= f_b . \frac{b.x}{2} - A_s f_s$$

$$= f_b (\frac{bx}{2} - n A_s \frac{h-x}{x}) \qquad (8 - 18\ a)$$

$$M_s = N.e_s$$

$$= f_b . \frac{b.x}{2} (h - \frac{x}{3})$$

$$N = \frac{f_b\ .\ b.x\,(h - \frac{x}{3})}{2\,(e + \frac{a}{2} - x')} \qquad (8 - 18\ b)$$

من المعادلتين $(8 - 18\ a)$ و $(8 - 18\ b)$:

$$f_b (\frac{b_x}{2} - n A_s \frac{h-x}{x}) = f_b . \frac{b.x}{2} (h - \frac{x}{3}) / e_s$$

$$e_s\left(\frac{bx}{2} - nA_s\frac{h-x}{x}\right) = \frac{bx}{2}\left(h-\frac{x}{3}\right)$$

$$3e_s\left[bx^2 - nA_s(h-x)\right] = 3bx^2h - bx^3$$

$$3e_s bx^2 - 6e_s nA_s h + 6e_s nA_s x = 3bx^2h - bx^3$$

$$bx^3 + (3e_s b - 3bh)x^2 + 6e_s nA_s x = 6e_s nA_s h$$

$$x^3 + (3e_s - 3h)x^2 + \frac{6e_s nA_s x}{b} = \frac{6e_s nA_s h}{b} \qquad (8\text{-}19\ a)$$

$$f_b = \frac{2Nx}{bx^2 - 2nA_s(h-x)} \qquad (8\text{-}19\ b)$$

$$f_s = \frac{nf_b(h-x)}{x} \qquad (8\text{-}19\ c)$$

بحل المعادلات (8 - 19 a, b, c) وتعويض القيم التالية :

$e = 60.5\ cm,\ h = 47.0\ cm,\ A_s = 14.7 cm^2,\ b = 50\ cm,\ n = 15$

نجد أن :

$x = 23.94\ cm$

$f_b = 51.8\ Kg/cm^2 > 40\ Kg/cm^2$ — too high

$f_s = 748\ kg/cm^2 < 1400\ kg/cm^2$ — too low

ومعنى هذا أن مقاس هذه القاعدة غير مقبول رغم الزيادة الواضحة في مساحة الجاويطات . ويلاحظ أننا إذا حاولنا تقليل تلك المساحة ، فإن ذلك يزيد جهد الضغط في الحرف الآخر.

فمثلاً اذا قللنا مساحة الجاويطات إلى : $A_s = 10.0\ cm^2$

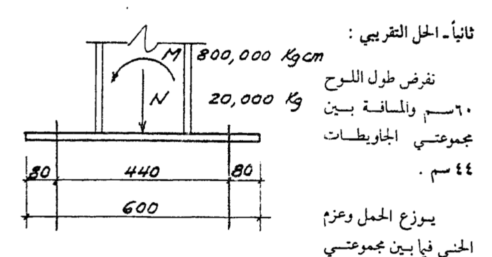
فإن

$f_b = 57.0\ Kg/cm^2$

$f_s = 1032\ Kg/cm^2$

أي أن مقاس لوح القاعدة محسوباً بهذه الطريقة التجريبية يعطي جهود ضغط على الخرسانة أكثر من المسموح به .

ثانياً ـ الحل التقريبي :



شكل (٨ ـ ١٥)

نفرض طول اللوح ٦٠سم والمسافة بين مجموعتي الجاويطات ٤٤ سم .

يوزع الحمل وعزم الحني فيا بين مجموعتي الجاويطات :

قوة الشد :

$$T = \frac{800\,000}{44} - \frac{20\,000}{2}$$

$$= 18\,182 - 10\,000 = 8{,}182 \; kg$$

قوة الضغط:

$$C = 18\,182 + 10\,000 = 28\,182 \; Kgs$$

ومنها نحصل على عرض اللوح ، باعتبار أن القوة C في مركز منشور الضغط وتساوي قيمته ، فإذا كان الضغط المسموح به على الخرسانة $40 \; kg/cm^2$:

$$28\,182 = \frac{3 \times 8.0 \times 40}{2} \times b$$

$$b = 58.7 \; cm$$

taken 60.0 cm

الجاويطات:

$$groos s\, A_s = \frac{8\ 182}{0.7 \times 1400} = 8.35\ cm^2$$

$$Use\ 3\ \phi\ 20 = 9.42\ cm^2$$

للتحقق من الجهود باستخدام المعادلات الدقيقة (8-19 a,b,c) حيث :

$$e_s = 40 + 30 - 8 = 62.0\ cm\ ,\ h = 52.0 cm\ ,\ A_s = 9.42\ cm^2,$$

$$b = 60.0\ cm,\ n = 15$$

نجد أن :

$$x = 22.3\ cm$$

$$f_b = 41.6\ Kg/cm^2 \sim 40.0\ Kg/cm^2$$

يمكن قبوله

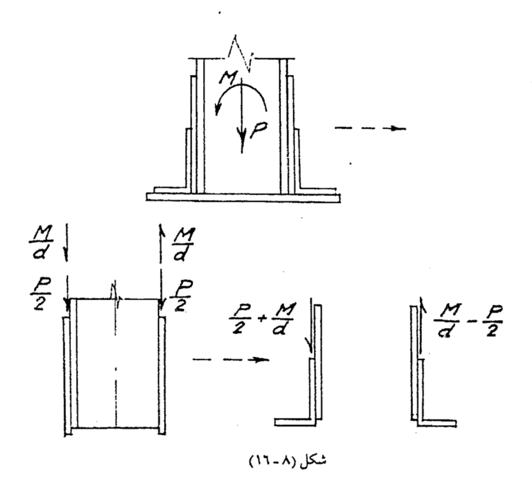
$$f_s = 831.0\ Kg/cm^2 < 1400$$

هذه الطريقة وإن كانت تقريبية إلا أنها تعطي نتائج قريبة إلى الصحة . ويمكن استخدامها بأمان.

هذا وتجدر ملاحظة أنه في كثير من الأحيان تنشأ عزوم الحني عن مؤثرات ثانوية مثل ضغط الريح والصدمة الجانبية للمرفاعات . وعندئذ ترفع الجهود المسموح بها للفولاذ بمقدار ١٥٪ كما ترفع الجهود المسموح بها للخرسانة بمقدار ٢٠٪.

القواعد المبرشمة المعرضة لعزم حني :

على نحو ما تنتقل الأحمال في القواعد المبرشمة المركزية التحميل ، ينتقل الحمل وعزم الحني من جسم العمود عن طريق شفتيه إلى زاويتي القاعدة : إما مباشرة في حالة القواعد الصغيرة وإما عن طريق لوحي الجناح في القواعد الثقيلة.

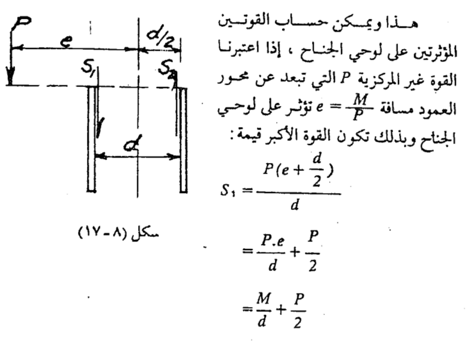


شكل (٨-١٦)

وينتقل الحمل المركزي إلى جانبي الشفتين مناصفة ، أما عزم الحني فإنه ينتقل على هيئة قوتين (متوازيتين) متساويتين متضادتين ، وبذلك تكون القوتان عند الشفتين اللتان تنتقلان إلى لوحي الجناح غير متساويتين وتحسبان من المعادلة :

$$S_{1,2} = \frac{P}{2} \pm \frac{M}{d} \qquad (8\text{-}20)$$

حيث d هو عمق مقطع العمود أي المسافة بين لوحي الجناح .



شكل (٨ - ١٧)

هـذا ويمكن حساب القوتين المؤثرتين على لوحي الجناح ، إذا اعتبرنا القوة غير المركزية P التي تبعد عن محور العمود مسافة $e = \frac{M}{P}$ تؤثر على لوحي الجناح وبذلك تكون القوة الأكبر قيمة :

$$S_1 = \frac{P(e + \frac{d}{2})}{d}$$

$$= \frac{P.e}{d} + \frac{P}{2}$$

$$= \frac{M}{d} + \frac{P}{2}$$

وقد تكون للقوتين S_1 وS_2 الإشارة نفسها ، وعندئذ تكون شفتا العمود منضغطتين إلى أسفل . وفي هذه الحالة يكون عدد البراشيم مكافئاً لستين في المائة من قوة الضغط ، حيث قد أوضحنا أن ٤٠٪ من قوة الضغط تنتقل بالتحميل المباشر بين شفة العمود ولوح القاعدة . ولكي تكون القاعدة متماثلة يؤخذ العدد الأكبر من البراشيم المناظر للقوة الأكبر قيمة أي

$$n = 0.6 \frac{\frac{P}{2} + \frac{M}{d}}{R_{ss}} \qquad (8 - 21)$$

أما إذا اختلفت إشارتا القوتين فإن إحدى الشفتين تُضغط إلى أسفل بينما تُشد الأخرى إلى أعلا . وتحسب البراشيم لتقاوم أكبر القيمتين :

أ ـ ٦٠٪ من القوة في الشفة المضغوطة .

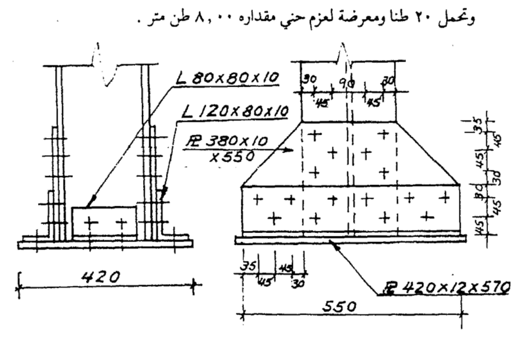
$$n_1 = 0.6 \; \frac{\frac{P}{2} + \frac{M}{d}}{R_{ss}} \qquad (8-21)$$

ب ـ كل القوة في الشفة المشدودة .

$$n_2 = \frac{\frac{M}{d} - \frac{P}{2}}{R_{ss}} \qquad (8-22)$$

ويوضع العدد الأكبر من البراشيم في كل من الجانبين .

مثال (٨ ـ ٣) ـ المطلوب حساب قاعدة مبرشمة لعمود مقطعه $BFI240$ وتحمل ٢٠ طنا ومعرضة لعزم حني مقداره ٨,٠٠ طن متر .



شكل (٨ ـ ١٨)

القوة المنقولة إلى الجناحين :

$$S_{1,2} = -\frac{20}{2} \mp \frac{800}{24}$$
$$= -10 \mp 33.3$$
$$= -43.3\ t \qquad or + 23.3\ t$$

القوة لحساب المسامير:

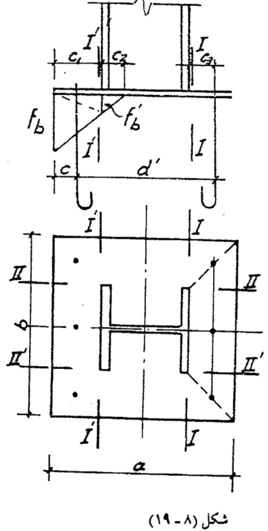
$$S = 0.6 \times 43.3$$
$$= 26.0\ t > 23.3\ t$$

Using Rivets ϕ 20, $R_{ss} = 2.64t$

$$n = \frac{26.0}{2.64} = 10\ rivets$$

حساب سمك لوح القاعدة المعرضة لعزم حني:

أولاً ـ في جهة جاويطات الشد :



شكل (٨ ـ ١٩)

القطاع الحرج (شكل ٨ ـ ١٩) هو I-I وتؤثر عليه قوة الشد عند الجاويطات (T) وبذلك تحدث جهود الشد في سطحه العلوي . ويكون عزم الحني المؤثر على القطاع $M_I = T.c_3$

ويقاوم عزم الحني هذا مقطع اللوح $b \times t$ والذي معايره .

$$Z = \frac{bt^2}{6}$$

وبذلك يكون عزم مقاومة المقطع

$$M_R = \frac{bt^2}{6} . f_{pt}$$

ومنها نحصل على سمك اللوح:

$$t = \sqrt{\frac{6M_I}{b\ f_{pt}}} = \sqrt{\frac{6Tc_3}{bf_{pt}}} \qquad (8 - 23)$$

ولكن إذا وقع أحد الجاويطات في

المساحة المشتركة بين القطاعين I-I وII-II فإن جزءاً من القوة في هذا الجاويط يقاومه اللوح في اتجاه المقطع II-II . فإذا كان الجاويط على الخط القطري كما في الرسم فإنه لا يؤثر على المقطع I-I سوى نصف القوة في الجاويط .

ثانياً ـ في جهة الضغط

يؤثر على القطاع الخرج ($I'-I'$) منشور الضغط من أسفل إلى أعلا محدثاً جهود الشد عند سطحه السفلي . ومقطع منشور الضغط شبه منحرف وطوله b وجهد الضغط عند حرف العمود :

$$f_b' = f_b \ \frac{c_2}{3c} = \frac{3c - c_1}{3c}$$

ولما كان جزء من هذا المنشور يؤثر على القطاع ($II-II$) و($II'-II'$) فإنه يؤخذ في الاعتبار في حساب القطاع ($I-I$) ٨٥٪ فقط من عزم الحني الذي يؤثر عليه .

$$M_I' = b \left(\frac{f_b c_1^2}{3} + \frac{f_b' c_1^2}{6} \right)$$

$$= f_b \cdot \frac{b c_1^2}{18c} (9c - c_1) \qquad (8-24)$$

ويحسب سمك لوح القاعدة ليقاوم عزم الحني الأكبر من M_I وM_I' .

مثال (٨ ـ ٣) ـ عمود مقطعه BFIZ40 ويحمل عند قاعدته 20.0t وتتعرض القاعدة لعزم حني مقداره 8.00 tm . و مقاس لوح القاعدة 60 × 60 cm . والمطلوب حساب سمك لوح القاعدة .

سبق حساب جهد الضغط على الأساس وقوة الشد في الجاويطات ، فكانت كما يلي :

جهد الضغط الأقصى عند حرف اللوح $41.6\ Kg/cm^2$

قوة الشد في ثلاث جاويطات $8.182\ t$

حساب عزم الحني على لوح القاعدة :

أ ـ القطاع I-I :

القوة المؤثرة هنا عبارة عن قوة من أعلى إلى أسفل وتعادل ما يقاومه جاويطان من الجاويطات الثلاثة :

$$M_{I\text{-}I} = \frac{2}{3} \times 8182 \times 10 = 54{,}540 \ Kg\ cm$$

ب ـ القطاع I'-I' :

القوة المؤثرة تعمل من أسفل إلى أعلى وتنشأ عن ردود فعل جهود الضغط .

جهد الضغط عند حرف العمود

$$f_b = \frac{41.6 \times 6}{24} = 10.4\ Kg/cm^2$$

$$M_{I'\text{-}I'} = 0.85\ \left[\ 60\ \left(\frac{41.6 \times 18^2}{3} + \ 10.4 \times \frac{18^2}{6} \right)\ \right]$$

$$= 257{,}770\ kg\ cm$$

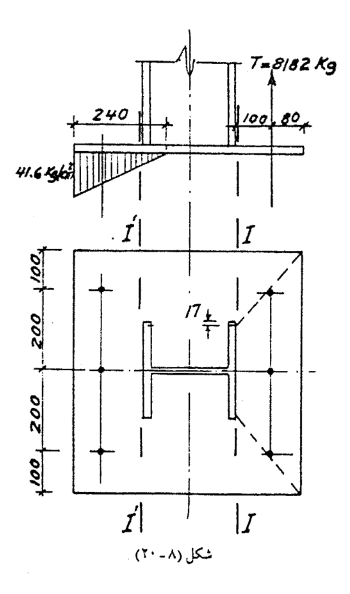
$$Z_{req} = \frac{257\,770}{1\,400} = 184\ cm^3$$

$t = 1.75\ cm$ taken 18 mm

القواعد الثقيلة

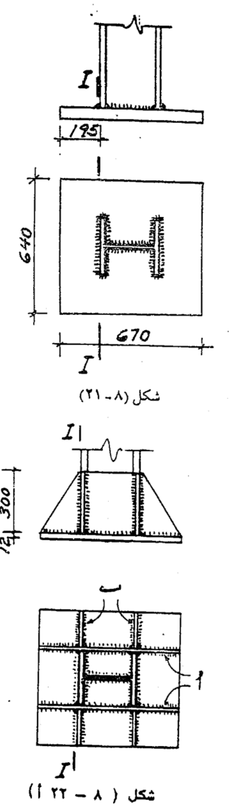
تتعرض بعض الأعمدة لمؤثرات تقتضي تعديل قواعدها لأسباب اقتصادية أو حسابية كما في الحالات الآتية :

أولا ـ عندما يكون الحمل الرأسي على العمود كبيرا في حين أنه لا يتعرض لعزم حني يذكر في الوقت الذي يكون فيه طول التحنيب صغيرا نسبيا :



شكل (٨ - ٢٠)

في هذه الحالة يكون مقطع العمود صغيراً نسبياً ، لارتفاع مقدار الجهد المسموح به بينما تكون المساحة اللازمة للوح القاعدة كبيرة ، وعندما تكون نهاية العمود ملحومة في لوح القاعدة يكون سمك اللوح كبيراً.



شكل (٨ـ ٢١)

شكل (٨ ــ ٢٢ أ)

مثال (٨ ـ ٤) ـ عمود مقطعه BFI 280 وطول التحنيب فيه ٣ أمتار ، يتحمل حملا مركزياً قدره ـ,١٧٢ طنا والمطلوب حساب قاعدة ملحومة له .

مساحة لوح القاعدة

$$A = \frac{172\,000}{40} = 4\,300 \ cm^2$$

لنأخذ اللوح 640×670

عزم الحني عند القطاع I-I :

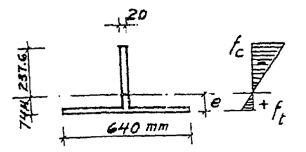
$$M = 0.85\,(40.0 \times 64.0 \times \frac{19.5^2}{2}) =$$

$$413\,710 \ Kgcm$$

من المعادلة (23 - 8) :

$$t = \sqrt{\frac{413\,710}{1400} \times \frac{6}{64}} = 5.3 \ cm$$

وهذا السمك كبير (شكل ٨ ـ ٢١) ولتخفيفه نلجأ إلى استعمال اجنحة ، لوحا الجناح أ وهما على شكل شبه منحرف ويستمران بكامل مقاس لوح القاعدة ، ألواح الجناح ب وهي على شكل مثلث (شكل ٨ ـ ٢٢أ) . وهذه الألواح تعطي جساءة للوح القاعدة الذي تلحم به حيث يصبح القطاع I-I على شكل حرف T .



شكل (٨-٢٢ب) المقطع المكافئ إلى II

أما عن ارتفاع لوح الجناح فيتراوح بين عرض العمود وبين مرة ونصف من ذلك العرض . أما السمك فيمكن اختياره بحيث لا يقل عن ١٠ مم .

ولحساب الجهود في المقطع $I\text{-}I$ نحسب أولا مركز ثقل مساحته ، المكونة من مقطع لوح القاعدة ومقطع لوحي الجناح أ ، ثم نحسب عزم عطالة $I\text{-}I$ حول المحور المار بذلك المركز ثم نحسب الجهود .

ففي المثال ، اخترنا سمك لوح القاعدة ١٢ مم ، ارتفاع لوح الجناح ٣٠ سم وسمكه ١٠ مم .

بعد مركز الثقل عن الحرف السفلي للوح :

$$e = \frac{64.0 \times 1.2 \times 0.6 + 2.0 \times 30.0 \times 16.2}{64.0 \times 1.2 + 2.0 \times 30.0} = 7.44\ cm$$

$$I = 64.0 \times 1.2 \times 6.84 + \frac{2.0 \times 30.0^3}{12} + 60.0 \times 8.76^2$$

$$= 12\ 697\ cm^4$$

$$f_c = \frac{413\ 710 \times 23.76}{12.697} = 744\ Kg/cm^2$$

$$f_t = \frac{413\ 710 \times 7.44}{12\ 697} = 242\ Kg/cm^2$$

وهذه الجهود منخفضة إلى حد كبير ، وإذاً يمكن تقليل ارتفاع الجناح .

ثانياً - عندما يتعرض العمود لعزم حني كبير بينما الحمل المحوري صغير.

مثال (٨ - ٥) - لحساب قاعدة عمود مبرشمة تتعرض لعزم حني مقداره ٣٠,٠ طن مترٍ وعليها حمل مركزي قدره ٣٠,٠ طنا ، حيث مقطع العمود *BFI 400* .

الحالة الأولى: النقل المباشر:

ينتقل الحمل وعزم الحني من شفتي العمود مباشرة إلى لوحي الجناح عن طريق براشيم تعمل في قص مفرد ، ومنها ينتقل إلى زاويتي القاعدة ببراشيم تعمل كذلك في قص مفرد وعددها يساوي عدد البراشيم الأولى.

تحسب البراشيم لتقاوم أكبر القوتين :

$$S_{1,2} = -\frac{30}{2} \mp \frac{3000}{40}$$

$$= -90.0\,t\downarrow\ ,\ +60.0\,t\uparrow$$

$$0.6 \times 90.0 = 54.0t$$

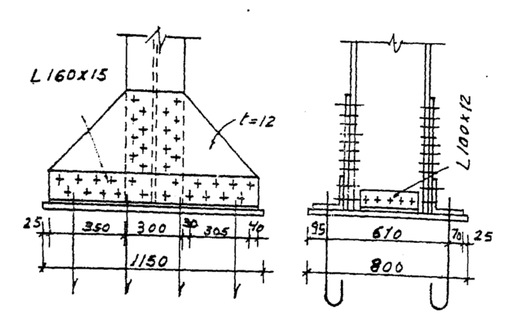
$$or \qquad \underline{60.0t}$$

قطر البرشام $20\,mm$

$$R_{ss} = 3080\,kg$$

عدد البراشيم في كل من جانبي شفتي العمود : $n = \frac{60\,000}{3080} = 20$

ويحدد ترتيب عدد البراشيم مقاسَ لوح القاعدة كما هو مبين في شكل (٨-٢٣) :



شكل (٨ - ٢٣)

والآن نتحقق من جهد الضغط على خرسانة الأساس ونحسب الجاويطات اللازمة على اعتبار أن جاويطات الضغط تقع في مركز منشور الضغط:

$$S_{1,2} = -\frac{30}{2} \mp \frac{3000}{61}$$

$$= -64.2\,t \downarrow \; +34.2\,t \uparrow$$

ثم نحسب جهد الضغط على خرسانة الأساس :

$$\frac{3 \times 9.5}{2} \times 115 f_c = 64\,200$$

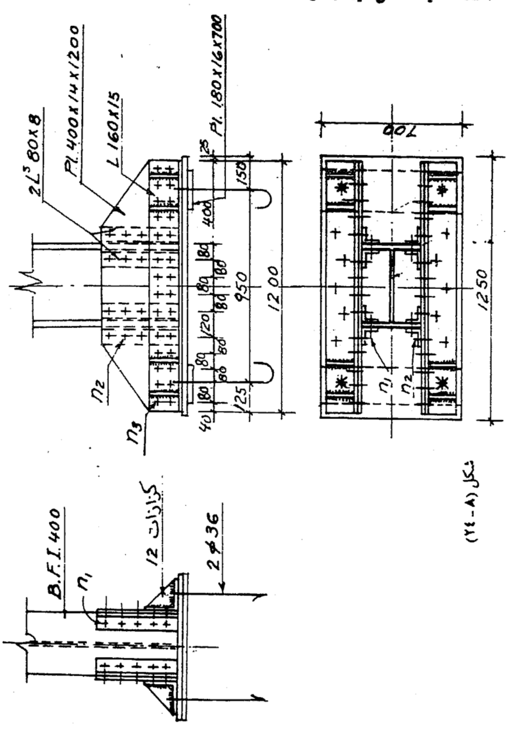
$$f_c = 39.0\ Kg/cm^2 \quad O.K.$$

المساحة الكلية لجاويطات الشد:

$$A_{s\,gross} = \frac{34200}{1400 \times 0.7} = 35.0\ cm^2$$

Chosen 4 ⌀ 36 ($40.7\ cm^2$)

الحالة الثانية ـ النقل غير المباشر ، القاعدة المبرشمة :

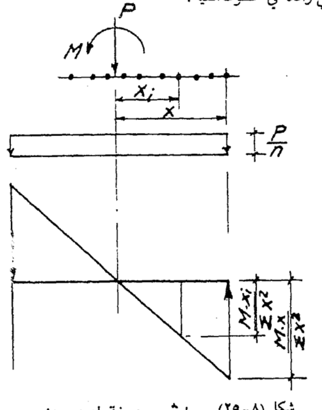


شكل (٨-٢٤)

في هذه الحالة يتحول المؤثران (الحمل وعزم الحني) إلى قوتين غير متساويتين يمكن افتراض احتوائهما بشفتي العمود . وتنتقل هاتان القوتان من شفتي العمود إلى لوحي جناح موازيين لجذعه عن طريق زوايا رأسية جانبية . فتنتقل القوة عن كل حرف من الشفة إلى زاويتين رأسيتين بواسطة مسامير (n_1) تعمل في قص مزدوج ، ثم تنتقل تلك القوة من الزاويتين إلى لوح الجناح عن طريق مسامير (n_2) تعمل في قص مفرد . وجميع هذه المسامير واقعة في خطوط رأسية .

وتنتقل القوى من لوحي الجناح إلى زاويتي القاعدة بواسطة مسامير (n_3) تعمل في قص مفرد وهي واقعة في خطوط أفقية .

وبإرجاع التأثيرين إلى أصلهما أي إلى حمل مركزي P وعزم حني M يؤثران على المسامير الأفقية فإن الحمل المركزي يصبح قوة قاصة على مجموعتي المسامير (n_3) وهي توزع بالتساوي على تلك المسامير.



شكل (٨-٢٥) براشيم معرضة لعزم حني في مستواها

أما عزم الحني فإنه يحُدث في المسامير قوى منعكسة بالنسبة لمركز المجموعة بحيث تتناسب القوة في المسمار مع بعده عن ذلك المركز تناسباً طردياً ويمكن إثبات أن عدد المسامير الواقعة في صف واحد واللازمة لمقاومة عزم حني تعطيه المعادلة التالية :

$$n = \sqrt{\frac{6M}{R.p}} \sqrt{\frac{n-1}{n}} \qquad (8-25)$$

وفيها

M : عزم الحني المؤثر $(Kg.cm)$

R : المقاومة الدنيا للمسمار (Kg)

p : خطوة المسامير الموحدة بالصف (cm)

وبحذف العامل الثاني من الطرف الأيمن للمعادلة ، يكون العدد n في جانب الأمان . وإن كان الغالب أن تتعرض المسامير لقوة قاضة مباشرة كما هي الحالة هنا وبذلك يستفاد من العدد الأكبر . وتصبح المعادلة :

$$n = \sqrt{\frac{6M}{R.p}} \qquad (8-26\ a)$$

وإذا كانت المسامير في صفين فيمكن حساب عددها من المعادلة التالية وهي تقريبية ولكن تقريبها في جانب الأمان :

$$\frac{n}{2} = \sqrt{\frac{3M}{R.p}}$$

$$n = \sqrt{\frac{12M}{R.p}} \qquad (8-26\ b)$$

وإذا كانت المسامير في ثلاثة صفوف تصبح المعادلة :

$$n = \sqrt{\frac{18M}{R.p}} \qquad (8-26\ c)$$

وفي جميع الحالات يجب التحقق من مقدرة العدد المحسوب لمقاومة P و M بالطريقة الدقيقة.

مثال (٨ ـ ٦) ـ والآن نعيد حساب القاعدة في المثال (٨ ـ ٥) بهذه الطريقة :

أ ـ القوة الأكبر عند الشفة = $60.0\ t$

عدد المسامير التي تعمل في قص مزدوج واللازمة لنقل القوة من الشفة إلى الزوايا الجانبية : $d = 20\ mm$

$$R_{d.s.} = \underline{6160}\ Kg$$

$$R_b = 2.0 \times 1.6 \times 1960 = 6270\ kg$$

$$n_1 = \frac{60\ 000}{6\ 160} = 10$$ (يجب أن يكون العدد زوجيا)

عدد المسامير التي تعمل في قص مفرد واللازمة لنقل القوة من الزوايا الجانبية إلى لوح الجناح :

$$n_2 = \frac{60{,}000}{3080} = 20$$ (يجب أن ينقسم العدد على ٤)

ب ـ عدد المسامير اللازمة لنقل المؤثرين إلى زاوية القاعدة (قص مفرد)

القوة القاصة في جانب واحد : $P = 15.0\ t$

عزم الحني في جانب واحد : $M = 15.0\ tm$

من المعادلة $(8\text{-}26\ b)$

$$n_3 = \sqrt{\frac{12 \times 1500000}{3080 \times 8}} = 27 \qquad , taken\ 28$$

وترتب المسامير كما في الرسم شكل (٨ ـ ٢٤) ، ونتحقق من كفاية عدد المسامير الذي حُسب .

القوة في المسمار الطرفي الناشئة عن عزم الحني :

$$1500\,000 = \frac{4S_1}{56}\left(56^2 + 48^2 + 40^2 + 32^2 + 24^2 + 12^2 + 4^2\right)$$

$$S_1 = 2386\ Kg$$

القوة في المسمار الواحد الناشئة عن القوة القاصة

$$S_2 \doteq \frac{15000}{28} = 536\ Kg$$

كلتا القوتين في الاتجاه الرأسي .

القوة الكلية في المسمار الطرفي :

$$S = 2386 + 536 = 2922\ Kg$$

$$< 3080\ Kg \qquad (O.K.)$$

حساب الجاويطات وجهد الضغط على خرسانة الأساس :

في هذه الحالة يوضع جاويط واحد في كل طرف من أطراف زاويتي القاعدة وذلك في اتجاه العزم . وليكن الجاويط على بعد ١٥ سم من طرف اللوح أي أن المسافة بين مجموعتي الجاويطات تصبح ٩٥سم .

وبالفرض نفسه المعمول به ، وهو اعتبار جاويط الضغط في مركز منشور الضغط :

$$S_{1,2} = -\frac{30}{2} \mp \frac{3000}{95}$$

$$= -46.6\ t\downarrow\ ,\ +16.6\ t\uparrow$$

مساحة الجاويطات

$$A_{gross} = \frac{16\,600}{1400 \times 0.7} = 16.9\ cm^2$$

$Chosen : 2\ \phi\ 32\ (16.8\ cm^2)$

لحساب جهد الضغط على خرسانة الأساس:

$$70 \times \frac{45}{2} \times f_c = 46\,600$$

$$f_c = 29.6\ Kg/cm^2 \qquad << 40.0\ kg/cm^2$$

أي أنه يمكن تقليل عرض لوح القاعدة.

هذا ، وينصح باستعمال كزازات مثلثة الشكل ملحومة لتقوية زاويتي القاعدة ولا سيما عند مواقع الجاويطات .

وفي مثل هذا النوع من القواعد يمكن تأكيد توزيع الأحمال على خرسانة الأساس وذلك باستعمال لوحي تحميل محدودي العرض في مواقع الجاويطات وبذلك يكون توزيع جهد الضغط تحت اللوح منتظماً .

عرض اللوح الذي طوله ٧٠سم:

$$b = \frac{46\,600}{40 \times 70.0} = 17\ cm$$

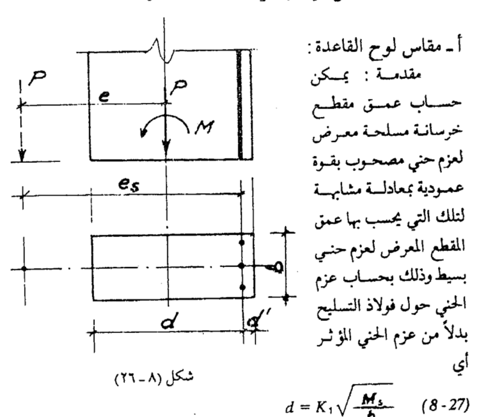
مع ملاحظة أنه يمكن في هذه الحالة رفع الجهد المسموح به للضغط حيث إن مسطح الخرسانة أكبر كثيراً من مساحة لوح التحميل .

بمقارنة القاعدة في كل من حالتي النقل المباشر والنقل غير المباشر يلاحظ أن قوة الشد قلت كثيراً (١٦,٦ طناً في مقابل ٣٤,٢ طنا) ، وبذلك أمكن استعمال عدد أقل من الجاويطات ذات قطر أقل (٢ قطر ٣٢ مقابل ٤ قطر ٣٦) .

الحالة الثالثة - النقل غير المباشر ، القاعدة الملحومة :

أ - مقاس لوح القاعدة :

مقدمة : يمكن حساب عمق مقطع خرسانة مسلحة معرض لعزم حني مصحوب بقوة عمودية بمعادلة مشابهة لتلك التي يحسب بها عمق المقطع المعرض لعزم حني بسيط وذلك بحساب عزم الحني حول فولاذ التسليح بدلاً من عزم الحني المؤثر أي



شكل (٨ - ٢٦)

$$d = K_1 \sqrt{\frac{M_s}{b}} \qquad (8-27)$$

ولا يمكن مسبقاً معرفة مقدار انزياح القوة عن موقع فولاذ التسليح إذ المفروض أن يكون عرض المقطع معروفاً ، فالأمر يقتضي افتراض مقاس وعمل محاولة أو أكثر .

مثال (٨ - ٧) - حساب القاعدة بالمثال (٨ - ٥) :

نفرض أن عرض لوح القاعدة $b = 60.0\ cm$ طول اللوح مبدئياً :

$$d = 0.4\sqrt{\frac{3000000}{60}}$$
$$= 90.0\ cm$$

$$e = \frac{M}{P} = \frac{3000}{30} = 100.0\ cm$$

بعد المحصلة عن الجاويطات (تقريباً) :

$$e_s = 100.0 + 40.0 \quad = 140.0\ cm$$

العزم حول الجاويطات:

$$M_s = 30.0 \times 140 = 4\,200\ tcm$$

نأخذ : $d' = 15.0\ cm$

ومنه : $d = 0.4\sqrt{\frac{4200000}{60}} = 105.0\ cm$

∴ مقاس اللوح 60×120

المسافة بين الجاويطات $120 - 30 = 90.0\ cm$

القوى على الأساس :

$$S_{1,2} = -\frac{30}{2} \mp \frac{3000}{90}$$

الشد في الجاويطات : $S_1 = +18.3\ t$

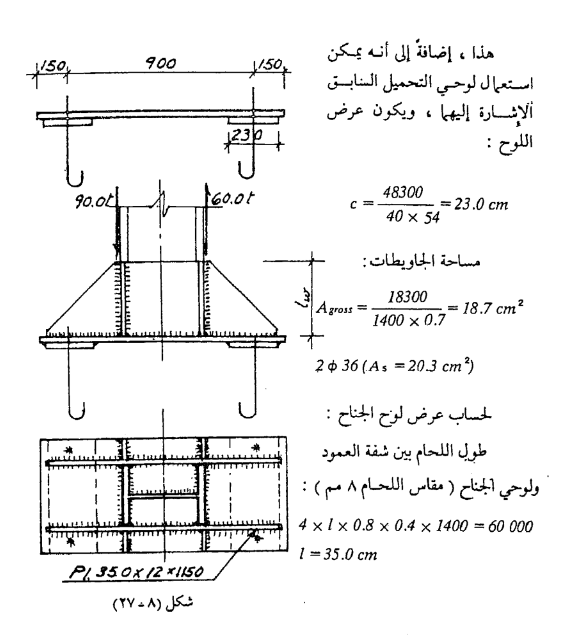
الضغط على الخرسانة : $S_2 = -48.3t$

الجهد على الخرسانة : $60 \times \frac{3 \times 15}{2} f_c = 48300$

$$f_c = 35.8\ Kg/cm^2 < 40.0\ Kg/cm^2$$

ويمكن تصغير عرض القاعدة: $b \times \frac{45}{2} \times 40 = 48300$

ويصبح العرض : $b = 54.0\ cm$



شكل (٨ ـ ٢٧)

هذا ، إضافةً إلى أنه يمكن استعمال لوحي التحميل السابق الإشارة إليهما ، ويكون عرض اللوح :

$$c = \frac{48300}{40 \times 54} = 23.0\ cm$$

مساحة الجاويطات :

$$A_{gross} = \frac{18300}{1400 \times 0.7} = 18.7\ cm^2$$

$2\ \phi\ 36\ (A_s = 20.3\ cm^2)$

لحساب عرض لوح الجناح :

طول اللحام بين شفة العمود ولوحي الجناح (مقاس اللحام ٨ مم) :

$$4 \times l \times 0.8 \times 0.4 \times 1400 = 60\ 000$$

$$l = 35.0\ cm$$

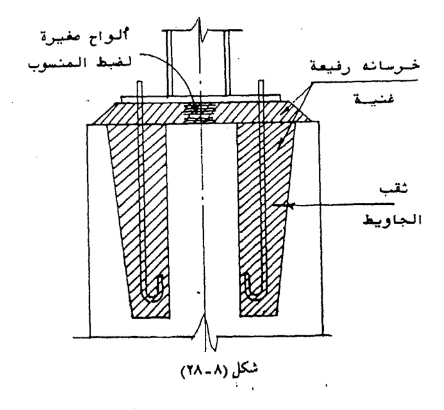
نقاط عملية في شئون التنفيذ

إن أعمال تركيب المنشأ المعدني الذي تحدد مقاساته الى أقرب ملليمتر والتي لا يتجاوز السماح (الخطأ) فيها ملليمترات قليلة تتطلب دقة لا تتوفر غالباً في أعمال إنشاء الأساسات وذلك من حيث النقاط التالية :

- التخطيط الأفقي لمحاور القواعد الخرسانية للأعمدة الفولاذية ، سواء في الاتجاه الطولي أم في الاتجاه العرضي.
- تحديد مناسيب الأسطح العلوية للقواعد.
- تركيب الفُرَم وتحديد أماكن جاويطات التثبيت فيها .

ولتلافي ما قد يحدث من أخطاء أو اختلافات في تخطيط محاور القواعد الخرسانية أو في منسوب أعلاها بحيث لو كانت الجاويطات مبيَّتة فيها فإنها لا تتقابل مع الثقوب في ألواح قواعد الأعمدة أو أن القواعد لو ركبت على الجاويطات لا تكون في مركز تقابل محوري العمود أو أن منسوب أعلى القاعدة أو بروز الجاويطات منها لا يتفق مع المنسوب التصميمي لتلك القاعدة، وجب اتباع ما يلي:

١ ـ تصب القواعد الخرسانية بحيث يكون منسوب أعلاها أقل من المنسوب التصميمي بمسافة تزداد كلما كبر بُعدا القاعدة وتتراوح بين : *40 , 100 mm*



شكل (٨ ـ ٢٨)

٢ ـ يزود الأساس بثقوب في المواقع المحددة للجاويطات بحيث يتسع الثقب لجنش الجاويط مع خلوص مناسب يسمح بتحريك الجاويط في الاتجاه الأفقي ليتوافق مع الثقب في لوح القاعدة وبذلك يمكن تحريك اللوح حتى يضبط مركز القاعدة مع تقابل محوري العمود التخطيطيين. كما يكون عمق الثقب أكبر من طول الجاويط بحيث يسمح بتحريك قاعدة العمود في الاتجاه الرأسي لضبط منسوبها.

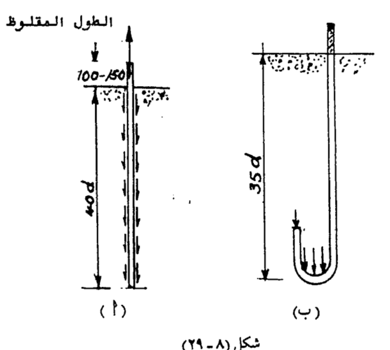
إضافة إلى ذلك يمكن عمل ما يلي :

- تزويد الجاويط من أعلاه بقلاووظ أطول من المعتاد بحيث تتحرك الصامولة مع الاختلاف المتوقع في المنسوب ، ويمكن أن يصل ذلك الطول إلى نحو ١٥٠ مم.
- زيادة قطر الثقوب في لوح القاعدة بنحو ٢٥ مم ليسمح بتحريك لوح القاعدة أفقيا .

وبعد ضبط لوح القاعدة أفقياً ورأسياً يحمَّل على حشوات من قطع من ألواح معدنية فيما بين ثقوب الجاويطات لسد الفرق بين منسوبي لوح القاعدة وسطح الأساس . ويملأ ذلك الفراغ كما تملأ ثقوب الجاويطات بخرسانة غنية بالأسمنت على أن يكون حصاها رفيعا لا يتعدى ١٥مم . ولتسهيل صب الخرسانة بالثقوب يجعل سطحها الخارجي ، أي الثقوب ، مائلاً .

إحكام (تثبيت) مسامير الإرساء (الجاويطات)

تقاوم الجاويطات القوة النازعة *(Uplift)* التي تتعرض لها قاعدة العمود والناشئة عن عزم الحني المؤثر على القاعدة (أو عن قوة خارجية) ، مما يُحدث في الجاويطات قوة شد ومن ثم تنقل الجاويطات تلك القوة إلى الأساس الخرساني ، عن طريق الالتصاق *(Bond)* فيما بين المساحة المحيطة للجاويط والخرسانة حوله والذي يقاوم انسلال الجاويط من الخرسانة *(Slip)* (شكل ٨ ـ ٢٩ أ) .



شكل (٨ ـ ٢٩)

وتتوقف هذه المقاومة على العوامل الآتية :

١ ـ جهد الالتصاق ، الذي يتناسب مع قوة خرسانة الأساس .
٢ ـ جهد الشد المسموح به لفولاذ الجاويط .
٣ ـ طبيعة سطح الجاويط ، فالسطح الأملس أقل مقاومة من السطح ذي النتوءات .

فاذا كانت قوة الشد في الجاويط

$$0.7 \times \frac{\pi d^2}{4} \times f_{pt}$$ (0.7 : للمساحة الصافية)

وكانت مقاومة الانزلاق $\pi d\, l \times f_{bond}$

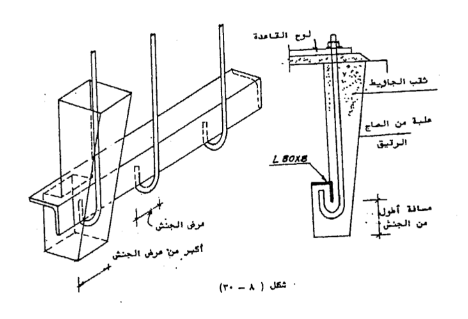
فإن :

$$0.7\ \frac{\pi d^2}{4} \cdot f_{pt} = \pi d\, l \times f_{bond}$$

$$l = \frac{f_{pt}}{5.7\, f_{bond}}\ d \qquad (8 - 28)$$

ويلاحظ أنه كلما كان الجهد المسموح به للفولاذ عالياً تطلب ذلك طولاً أكبر للجاويط ، كما أنه كلما ازدادت قوة الخرسانة قل الطول المطلوب للجاويط . ولذلك يستعمل الصلب العادي *St 37* في الجاويطات . كما أن المعتاد استعمال الخرسانة *C160* في الأساسات . فللأسياخ الملساء يكون الطول المطلوب نحو ٤٠ مرة قطر السيخ . فإذا زود الجاويط بجنش فإنه يضاف إلى مقاومة الانزلاق المقاومة عن طريق التحميل على الجنش ، وبذلك يقل الطول بمقدار ٢٠٪ ، كما هو معتاد في أعمال الخرسانة المسلحة . ويمكن القول أن الطول المدفون في هذه الحالة ٣٥ مرة قطر السيخ .

ويكتفي بطريقة التثبيت هذه إذا لم يزد قطر الجاويط على ٢٥مم . فإذا كان الجاويط أكبر قطراً وبالتالي أكبر طولاً تعذر الاطمئنان إلى تمام تثبيت الجاويط في خرسانة الأساس أو إلى امتلاء ثقب الجاويط بالخرسانة أو إلى حسن تماسك خرسانة الثقب بخرسانة الأساس وعندئذٍ نلجأ إلى إحدى الوسائل الآتية :



شكل (٨ – ٣٠)

١ ـ تحميل الجنشات على زاوية فولاذية :

يثبت بالأساس الخرساني وعلى العمق المحدد زاوية فولاذية رجلها الرأسية منكسة بحيث تعلق الجنشات بها عند سحب الجاويط إلى أعلى لربطه مع لوح القاعدة (شكل ٨ ـ ٣٠) .

ولما كان ثقب الجاويط في هذه الحالة غير مستقيم الجوانب ، لذلك يلزم أن يجهز له صندوق من الصاج الرقيق يلحم بالزاوية ويثبت في فرمة الأساس مع التسليح بحيث لا يتحرك أثناء عملية الصب . وتعطي هذه الطريقة حرية أكبر في ضبط الجاويطات ، وفي الوقت نفسه يعطي إرساء الجاويطات بالزاوية ضماناً تاماً بعدم انخلاع الجاويطات ويكتفي هنا بطول مدفون للجاويط نحو ٣٠ قطراً .

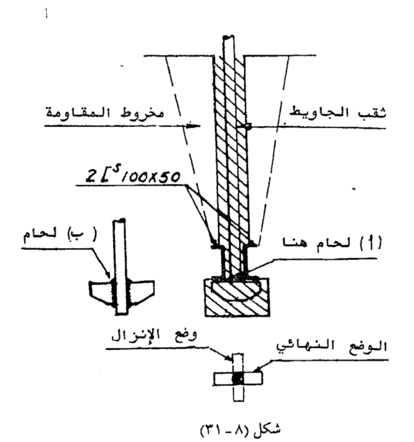
٢ ـ تحميل الجاويط برأس مستطيل على مجرتين :

يزود الجاويط (شكل ٨ ـ ٣١) بدلاً من الرأس السداسي المعتاد بخوصة مستطيلة الشكل يلحم السيخ من أعلاها كما في (أ) أو بخوصتين تلحمان على جانبي السيخ وربما من أعلاهما وأسفلهما كما في (ب) . ويحسب اللحام في جميع الحالات لمقاومة قوة الشد في الجاويط . ويكون عرض الخوصة أكبر قليلاً من قطر السيخ .

ويزود الأساس الخرساني بمجرتين تتباعدان نحو ٢٠ مم أكبر من قطر الجاويط . وينزل الجاويط بحيث يمر من الفتحة بين المجرتين ثم يُلفّ ٩٠° ويسحب الجاويط وتربط صامولته . ويلاحظ من الرسم الشكل الذي يجب أن يكون عليه ثقب الجاويط الذي يلزمه علبة من الصاج الرقيق ، ولا بأس أن تكون اسطوانية الشكل .

وتعتمد مقاومة الجاويط في هذه الحالة كلية على التحميل على المجرتين اللتين تتحملان بدورهما على خرسانة الأساس .

ويلاحظ أن استعمال هذه الطريقة يقتضي دقة أكبر من سابقتها في تحديد مكان الجاويطات .



شكل (٨ ـ ٣١)

وليس طول الجاويط بالأمر المهم في حساب مقاومته ولكن مقاومة منشور الخرسانة التي تعلو المجرتين . ويمكن القول أن بين ٢٠ و ٣٠ مرة قطر الجاويط يكفي لإحداث تلك المقاومة .

٣ ـ تحميل الجاويط بلوح رأس :

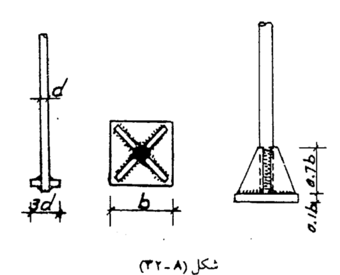
هذه الطريقة والتي تليها مستخدمة في روسيا وكلتاهما تقتضي أن توضع الجاويطات في مواضعها المحددة على الرسومات بدقة على قدر الإمكان أثناء وضع تسليم القواعد وقبل تركيب الفرم أي قبل صب خرسانة الأساس .

أ ـ التحميل بلوح رأس منفرد :

يلحم عند نهاية الجاويط لوح تحميل مربع الشكل مثقوب مقاسه نحو ٣ أمثال قطر المسمار ويتراوح سمكه بين ١٦ و ٢٠ مم . وفي هذه الحالة يؤخذ طول الجاويط ٣٠ مرة قطر المسمار .

ب ـ التحميل بلوح رأس ذي أجنحة: يلحم في نهاية الجاويط لوح تحميل مربع الشكل مقاسه نحو ٤ ـ ٥ أمثال قطر المسمار وسمكه عُشر عرضه . ويزود اللوح بأربعة أجنحة تصل بين السيخ وبين أركان اللوح . وارتفاع الجناح نحو ٠,٧ عرض اللوح وسمكه بين ٨ و ١٠ مم وفي هذه الحالة لا يزيد طول الجاويط على ٢٠ مرة قطر المسمار .

وفي كلتا الحالتين يوسع قطر ثقب الجاويط في لوح القاعدة بنحو ٢٠ مم تحوّطا لما قد يحدث من أخطاء تنفيذية



شكل (٨ ـ ٣٢)

أساس العمود

تؤثر العوامل التالية في تصميم أساس العمود :

١ ـ المنسوب الصالح للتأسيس الذي يحدد العمق الذي يصل إليه الأساس .

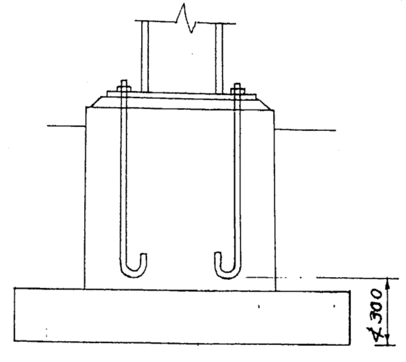
٢ ـ قدرة تحمل التربة على ذلك المنسوب حيث تحدّد المساحة اللازمة للأساس .

٣ ـ الحيز الذي يمكن أن يشغله الأساس ، فهو قد يؤثر في اختيار مقاسات مساحة الأساس .

٤ ـ ما يتعرض له الأساس من مؤثرات خارجية : قوى محورية ، قوى أفقية ، عزم حني منفرد ، عزم حني مزدوج ثم اجتماع عاملين أو أكثر من هذه المؤثرات . ويحدُّد مقاسا الأساس وموضع العمود عليه ليقاوم تلك المؤثرات .

٥ ـ وفي المنشآت المعدنية يؤثر عنصر إضافي ، هو الطول المطلوب للجاويطات : فإن طول الجاويط يتطلب حداً أدنى لسمك الأساس حيث يجب ألا يقل سمك الخرسانة بعد انتهاء الجاويط عن ٣٠ سنتيمتراً .

ولما كانت الجاويطات تتطلب سمكاً كبيراً للأساس ، فإنه يمكن الاقتصاد في كمية الخرسانة اللازمة له بعمل رقبة عمود *(Pedestal)* . أي



شكل (٨ ـ ٣٣)

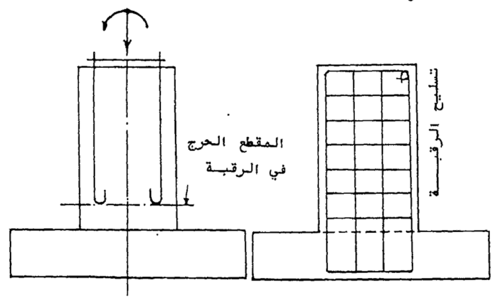
قاعدة (تشبيهاً لها بقاعدة التمثال التي ترتكز على أساس) بحيث تحتوي تلك الرقبة على الجاويطات بكامل طولها ، أو معظم طولها .

ويصبح عمل رقبة العمود اجبارياً إذا كان منسوب قاعدة العمود أعلى من منسوب الأرضية .

ويحدد مقاسُ لوح القاعدة مقطعَ رقبة العمود التي يجب أن تتسع لخرسانة الحشو *(Cement Grout)* .

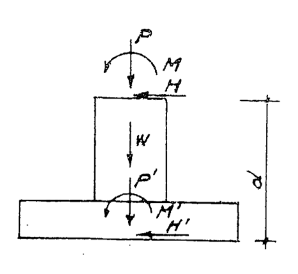
وسندرس هنا أساسات الأعمدة الفولاذية المعرضة لعزم حني ولقوة أفقية ، حيث تراعى في حساباتها النقاط التالية :

أ ـ تحقيق مقطع رقبة العمود بعد أن تنتهي الجاويطات أو بعد أن ينتهي الطول الفعال فيها ، إذ يجب أن تزود الرقبة بتسليح رأسي بحيث يتحمل مقطعها القوة غير المركزية التي تؤثر عليه . ويلاحظ أن التسليح الرأسي الذي يكون متماثلاً في الجهتين يعمل جميعه في مقاومة تلك القوة ، (شكل ٨ ـ ٣٤) ويحسب ذلك التسليح بالطرق المستخدمة في حساب مقاطع الخرسانة المسلحة .



شكل (٨ ـ ٣٤)

ب ـ إذا تعرضت قاعدة عمود لقوة أفقية خارجية كتلك الناشئة عن ضغط الريح أو الصدمة الجانبية للمرفاعات أو لقوة أفقية ناشئة عن تأثيرات إطار (Frame action) ، فإن تأثير تلك القوة يزيد من عزم الحني الذي يؤثر على رقبة العمود .



شكل (٨ ـ ٣٥)

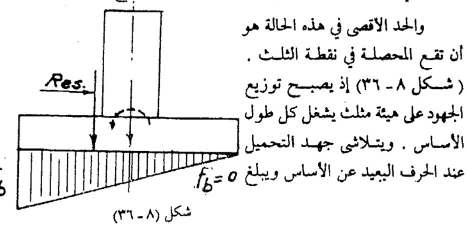
كذلك فإن تأثيرها يدخل في حساب الجهود على سطح التربة حيث يزداد عزم الحني الذي يؤثر على ذلك السطح . على أنه تجب ملاحظة أن يضاف إلى الحمل الرأسي عند سطح التربة ، وزن الخرسانة المسلحة للأساس وكذلك أوزان الحوائط التي تنتقل بتحميل مباشر على رقبة العمود :

$$P' = P + W$$

$$M' = M + H \times d$$

حـ ـ يحسب مسطح الأساس بحيث تقع محصلة المؤثرات (القوى الرأسية والأفقية وعزم الحني) داخل منطقة الثلث الأوسط حتى لا يتعرض أحد جانبي الأساس لجهود شد لن تتوفر بين الأساس وسطح التربة .

والحد الاقصى في هذه الحالة هو أن تقع المحصلة في نقطة الثلث . (شكل ٨ ـ ٣٦) إذ يصبح توزيع الجهود على هيئة مثلث يشغل كل طول الأساس . ويتلاشى جهد التحميل عند الحرف البعيد عن الأساس ويبلغ

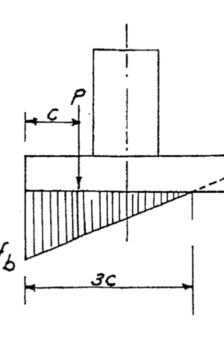


شكل (٨ ـ ٣٦)

أقصاه عند الحرف الآخر حيث تصل قيمته إلى ضعف الجهد المتوسط ($\frac{P}{A}$)

$$f_b = 2\frac{P}{A} \qquad (8\text{-}29)$$

حيث P هي المركبة الرأسية للمحصلة وA مساحة سطح التحميل (مساحة الأساس) .



شكل (٨ ـ ٣٧)

هذا ، ويمكن أن تقع المخصلة في منطقة النصف الأوسط من سطح الأساس ، وفي هذه الحالة يهمل ما يتعرض له سطح التربة من جهود شد ، وعندئذ يحسب جهد التحميل من واقع أن حجم منشور الضغط يساوي المركبة الرأسية للمحصلة .

فإذا كان بعد القوة المزاحة عن حرف الأساس = c فإن :

$$P = \frac{3c.b}{2} \times f_b$$

$$f_b = \frac{2P}{3c.b} \qquad (8\text{-}30)$$

وعند ما تقع المحصلة في نقطة الربع،تصل قيمة جهدالتحميلإلى أقصاها :

$$f_b = \frac{8}{3}\frac{P}{A} \qquad (8\text{-}31)$$

وفي جميع الحالات يجب ألا يتجاوز جهد التحميل الجهد المسموح به على تربة الأساس ، على أن يؤخذ في الاعتبار الزيادة في الجهد المسموح به عند احتساب ما تسببه المؤثرات الثانوية مثل ضغط الريح والصدمة الجانبية للمرفاعات ، سواء بالنسبة للجهود في الخرسانة المسلحة أم للجهود على تربة الأساس .

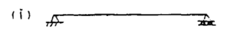
الفصل التاسع

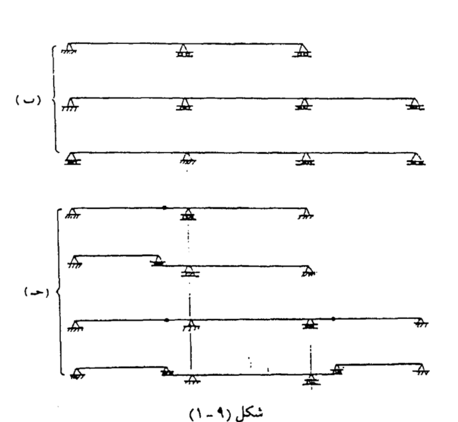
الكراسي

(Bearings)

الكرسي هو ذلك الجزء من المنشأ الذي عن طريقه تنتقل الأحمال الواقعة عليه وكذلك القوى التي تؤثر عليه إلى الركيزة .

وتزود الكمرة البسيطة التحميل بكرسيين أحدهما ثابت *(Fixed)* والآخر متحرك *(Movable)* . ويقصد بالكرسي المتحرك أنه يسمح للكمرة بالحركة الخطية بينما يمنعها الكرسي الثابت من ذلك (شكل ٩ ـ ١ أ) .





شكل (٩ ـ ١)

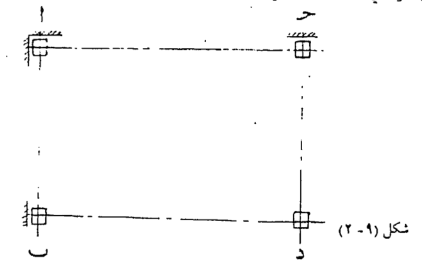
وتزود الكمرة المستمرة بكرسي واحد ثابت وتكون باقي الكراسي متحركة . (شكل ٩ ـ ١ ب) أما الكمرة المفصلية فيزود كل جزء منها بكرسيين أحدهما ثابت والآخر متحرك (شكل ٩ ـ ١ حـ) .

والغرض من الكرسي المتحرك هو السماح للمنشأ (أو جزء منه) بالحركة الناشئة عن ازدياد في الطول بسبب التمدد الناشيء عن التغير في درجة حرارته أو عن التغير المرن في طول الوتر السفلي مما يتسبب في استطالته (أو انكماشه) تحت تأثير الجهود التي تحدث فيه نتيجة الأحمال الخارجية . والمعتاد اعتبار أن التغير في طول العنصر بسبب التأثيرات المشار إليها يصل إلى نحو ملليمتر واحد لكل متر من طوله .

أما الكرسي الثابت فإنه بالإضافة إلى نقله الأحمال الرأسية إلى الركيزة فإنه يقاوم القوى الأفقية الطولية والعرضية التي تتعرض لها الكمرة (أو الجمل) وينقلها إلى الركيزة .

ويجب أن يسمح كل من الكرسيين للكمرة أن تدور في المستوى الرأسي لتأخذ شكل منحني الترخيم .

وإذا كان عرض المنشأ المترابط كبيرا كما في الجسور ، بحيث أن التغير في العرض بسبب التأثيرات الحرارية يكون واضحا مما قد يؤثر على المنشأ نفسه أو على الكراسي أو على الركائز أو عليها كلها ، فانه يجب مراعاة السماح للمنشأ بالحركة في الاتجاهين الطولي والعرضي ، كما في شكل (٩ ـ ٢) .



شكل (٩ ـ ٢)

أ ـ كرسي ثابت في الاتجاهين

ب ـ كرسي ثابت في الاتجاه الطولي

حـ ـ كرسي ثابت في الاتجاه العرضي ، متحرك في الاتجاه الطولي

د ـ كومي متحرك في الاتجاهين .

كراسي الجمالونات

تتوقف طريقة تحميل الحمل على الركيزة على وضع الوتر السفلي . ويبين شكل (٩ ـ ٣) أنواعا مختلفة من العقدة عند ارتكاز الجمل . ويبين شكل (٩ ـ٤) تلك العقد التي تختلف في الوتر السفلي الأفقي عنه في الوتر الذي يميل على الأفقي :

١ ـ إذا كان الوتر السفلي أفقيا عند عقدة الارتكاز :

فإن الحمل ينتقل من الجمل إلى الوتر السفلي مباشرة وذلك عن طريق لوح التجميع في العقدة عند الكرسي حيث تنتقل إليه القوى من العضو أو الأعضاء التي تتصل به كما في الأشكال رقم (٩ ـ ٣) من أ إلى هـ وتفاصيلها بالأشكال رقم (٩ ـ ٤) من أ إلى هـ .

٢ ـ إذا كان الوتر السفلي مائلا عن الأفقي أضيفت إلى العقدة عند الكرسي زاويتان تسميان زاويتي الحذاء حيث ينتقل الحمل إليهما من لوح التجميع في تلك العقدة كما في الأشكال رقم (٩ ـ ٣) من و إلى ي وتفاصيلها بالأشكال رقم (٩ ـ ٤) من و إلى ي .

اختيار الكرسي :

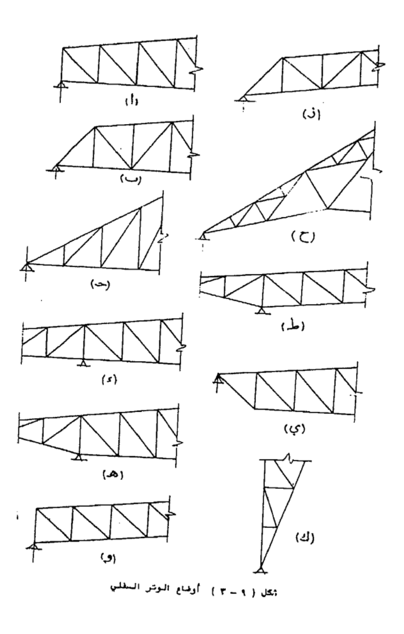
يتوقف اختيار نوع الكرسي على العوامل التالية :

١ ـ الأحمال الواقعة على الكرسي والقوى المؤثرة عليه واتجاهاتها .

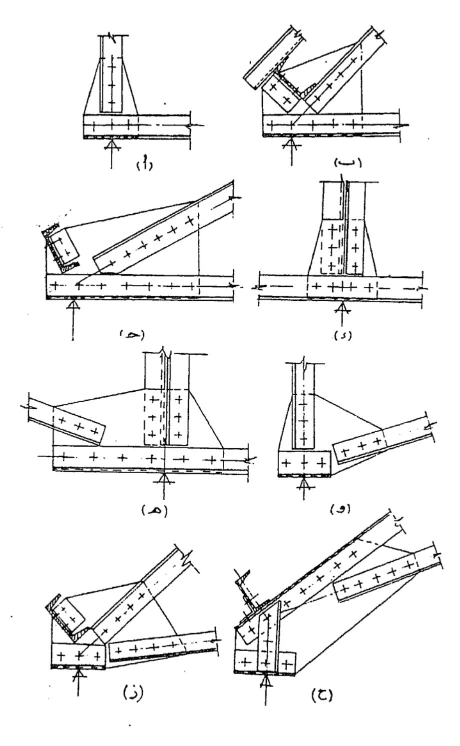
٢ ـ مادة الركيزة وجهد التحميل عليها .

٣ ـ كون الكرسي ثابتا أو متحركا

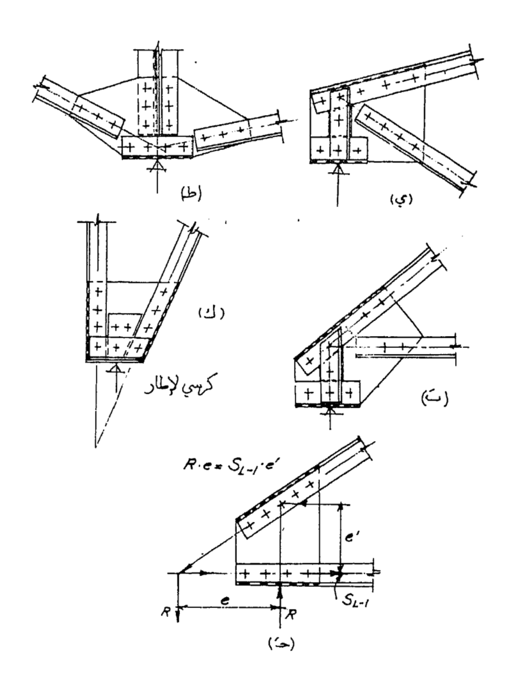
٤ـ طول بحر الجمل ومقدار الحركة المتوقعة واتجاهها .



شكل (٩ – ٣) أوضاع الوتر السفلي



شكل (٩ ـ ٤)



تفاصيل العُقَد عند الكرسي

تابع شكل (٩ ـ ٤)

يحسب الكرسي ليقاوم الأحمال الرأسية من أحمال ميتة وأحمال حية ثابتة أو متحركة أو متدحرجة بما في ذلك تأثيرها الديناميكي ، وكلها تعتبر من المسببات الرئيسية للجهد ، كما يُحسب - إضافة إلى هذه الأحمال - ليقاوم القوى الأفقية ، طولية وعرضية ، كضغط الريح والقوى الناشئة عن حركة الأحمال المتدحرجة وعن الاحتكاك فيما بين أجزاء الكرسي ، وهذه القوى من المسببات الثانوية للجهد وعندئذ ترفع الجهود المسموح بها إلى الحدود المقررة بالمواصفات . كما يحسب الكرسي ليقاوم ما قد يتعرض له من قوة نازعة مثل تلك الناشئة عن قوة الريح الماصة أو التي تحدث في الكمرات المستمرة . كل هذه الأحمال والقوى يجب نقلها إلى الركيزة في حدود الجهود المسموح بها لمادتها .

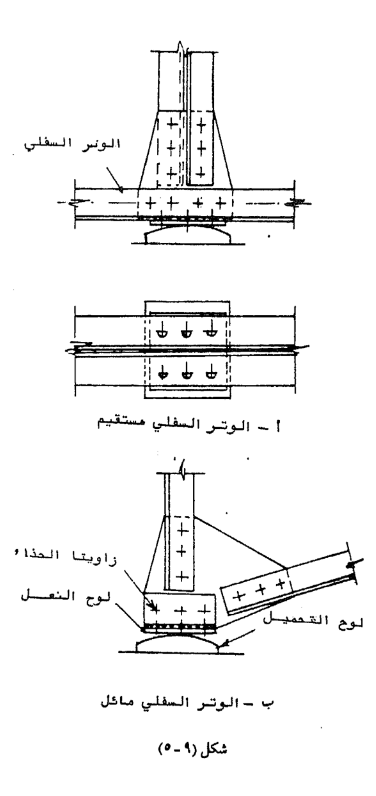
الكرسي لجمالون السطح :

هذا الكرسي من النوع اللوحي ويتكون من لوحين :

أ - لوح النعل (*Sole plate*) وهو لوح ذو سطح مستو تزود به العقدة عند نقطة الارتكاز . ويربط (أو يلحم) اللوح بزاويتي الوتر السفلي متمركزا بالنسبة لمركز العقدة أو يربط بزاويتي الحذاء . وعند استخدام البراشيم يجب أن تكون رؤوسها غاطسة من الأسفل .

ويؤخذ طول لوح النعل أكبر ببضعة ملليمترات من عرض الزاويتين المربوط فيهما (زائدا سمك لوح التجميع) ، أما عرضه فيتوقف على طراز الكرسي . وعلى العموم يجب ألا يقل عما يتسع لصفين من البراشيم ويفضل ألا يقل عن طول زاويتي الحذاء . ويجب ألا يقل سمك لوح النعل عن ١٢ مم .

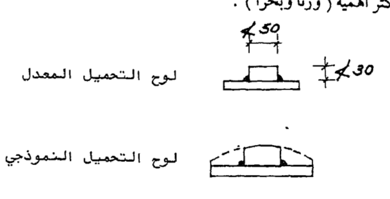
ب - لوح التحميل (*Bearing Plate*) وهو ما يرتكز عليه الجمالون وعن طريقه تنتقل الأحمال والقوى التي تؤثر على الجمالون إلى الركيزة . وتحسب مساحة لوح التحميل بحيث تكون الجهود على سطح الركيزة ، الناشئة عن الأحمال الميتة والحية وغيرها من القوى ، في حدود المسموح بها لمادة الركيزة .


الونر السفلي
أ ـ الوتر السفلي مستقيم
زاويتا الحذاء
لوح النعل
لوح التحميل
ب ـ الوتر السفلي مائل

شكل (٩ ـ ٥)

ولما كان ارتكاز الجمالون على الكرسي من الوجهة النظرية عبارة عن نقطة أو بالأحرى خط عمودي على مستوى الجمالون عند نقطة الارتكاز فإن تماس سطح مقوس ، هو السطح العلوي للوح التحميل مع سطح مستو ، هو السطح السفلي للوح النعل يمثل عمليا خط الارتكاز المذكور . ويكون تقوس السطح اسطوانيا دائريا .

هذا ، وعندما تكون الأحمال خفيفة ويكون بحر الجمل صغيرا يمكن استبدال لوح التحميل المقوس بلوحين ملحومين ، (شكل ٩ - ٦) ، العلوي ضيق ويمثل مرتكز الجمالون وقد يكون مستويا وقد يكون مقوسا للأعمال الأكثر أهمية (وزنا وبحرا) .



شكل (٩ - ٦)

الاحتكاك في الكرسي اللوحي :

في الكرسي المتحرك من الطراز اللوحي ينزلق فولاذ على فولاذ وبذلك يكون هناك مقاومة يحددها معامل الاحتكاك وهو يقدر بنحو ١٥٪ ولكن المواصفات تتطلب أن تحسب قوة المقاومة للانزلاق بمقدار ٢٠٪ من الحمل الواقع على الكرسي .

إرساء الجمالون على الركيزة :

نقصد بالإرساء تثبيت الجمالون على الركيزة بحيث لا يتحرك أفقيا إلا حيث يسمح له ولا يتحرك رأسيا إطلاقا ، أي ينقل القوى الأفقية والقوى

النازعة إلى الركيزة وذلك عن طريق مسامير الجاويط . ويتم ذلك بإحدى طريقتين :

أ ـ الإرساء المباشر :

يمر الجاويط، الذي يدفن في الركيزة، خلال كل من لوح التحميل ولوح النعل وزاويتي الحذاء (أو زاويتي الوتر السفلي)

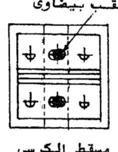
وفي الكرسي الثابت تكون جميع الثقوب التي يمر بها الجاويط دائرية . أما في الكرسي المتحرك فتعمل الثقوب في زاويتي الكرسي ومعها لوح النعل بيضاوية وتسمى (مشقبية) ، .ويتوقف طول الثقب على التمدد المنتظر في الجمالون . وبذلك يتمكن الجمل من التحرك طوليا بينما يثبت لوح التحميل بالركيزة . وما دام الجاويط يمر في لوح التحميل العلوي فإن عرضه يجب ألا يقل عن ٤ أمثال قطر الجاويط . وهنا يعمل الجاويط على مقاومة القوى الأفقية أيا كان اتجاهها على الكرسي الثابت ، وعلى مقاومة القوى الأفقية الجانبية أي العمودية على مستوى الجمل بالنسبة للكرسي المتحرك .

مسقط الكرسي الثابت

كما تقاوم الجاويطات القوى النازعة *(Uplift)* مثل قوة مص الريح ومثل القوة الرافعة للطرف المحمل من كمرة كابولية ولا سيما عندما يكون طرفها الحر طويلا .

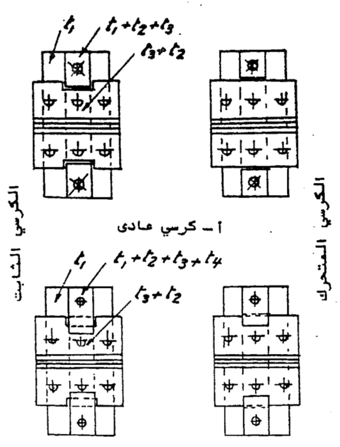
ب ـ الإرساء من الخارج :

في هذه الحالة تمر الجاويطات في لوح التحميل دون زاويتي الجمالون (شكل ٩ ـ ٨) .



مسقط الكرسي المتحرك

شكل (٩ ـ ٧)



ب ـ كرسي يقاوم القوة النازعة

t_1 = سمك لوح التحميل السفلي — t_3 = سمك زاويتي الحذاء + ١ مم

t_2 = سمك لوح التحميل العلوي — t_4 = خوصة لمقاومة القوة النازعة (لجام) سمك ١٠ مم

شكل (٩ ـ ٨)

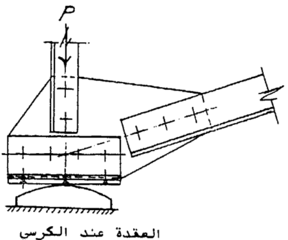
ويزود الكرسي بقطعتين لوحيتين تضبطـان محـوري الجمـل وتحـكمان حركة تمددة عند الطرف المتحرك وتمنعانه من الحركة عند الطرف الثابت . كما في شكل (٩ ـ ٨) الذي يوضح طرازين من هذه الكراسي :

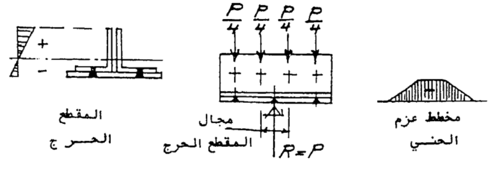
إذا لم يكن الكرسي معرضا لقوة نازعة اكتفي بالوضع المبين في شكل (٩ ـ ٨أ)

فإذا كان الكرسي معرضا لقوة نازعة زود لوح التحميل بلجامين كل منهما عبارة عن خوصة تمتد فوق الرجل الأفقية لزاوية الحمل كما في شكل (٩ـ٨ ب) .

حساب الكرسي اللوحي

أولا ـ حساب لوح النعل :





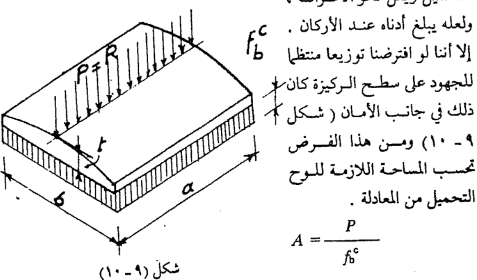
شكل (٩ ـ ٩)

لما كان لوح التجميع لا يصل إلى حافتي زاويتي الكرسي ، فإن الحمل المنقول إليهما من لوح التجميع خلال براشيم الوصل يتسبب في حدوث عزم حني حول (نقطة) الارتكاز (شكل ٩ ـ ٩) . ويقاوم عزمَ الحني هذا مقطعٌ

مكون من زاويتي الكرسي ولـوح النعـل ويحـدث شد في أعـلاه وضغـط في أسفله . وتوجد في هذا المقطع ثقوب للجاويطين أو لبراشيم رأسية وأخـرى لبراشيم أفقية وتجب مراعاتها عند حساب معاير المقطع .

ثانياً ـ حساب لوح التحميل :

ينتقـل الحمـل من عقـدة الارتكاز إلى لوح التحميل عنـد خط التحميل، وتتوقف الكيفية التي يوزع بها الجهد على سطـح الركيزة على جسـاءة هذا اللـوح ويحتمل أن يكون التـوزيع غـير منتظم وأنه يبلغ أقصاه عند خط التحميل ويقل نحو الأطـراف ، ولعله يبلغ أدناه عنـد الأركان . إلا أننا لو افترضنا توزيعا منتظما للجهود على سطـح الـركيزة كان ذلك في جانـب الأمـان (شـكل ٩ ـ ١٠) ومـن هذا الفـرض تحسـب المساحـة اللازمـة للـوح التحميل من المعادلة .

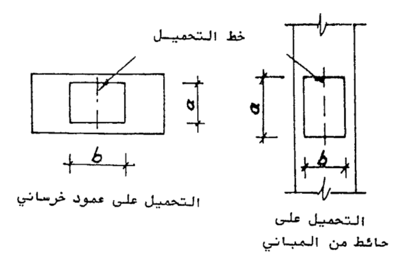


$$A = \frac{P}{f_b^c}$$

شكل (٩ ـ ١٠)

حيث P = الحمـل الواقـع على الـكرسي ويسـاوي رد فعـل الركيزة R و f_b^c = جهد التحميل لمادة الركيزة .

ويتوقف اختيار مقـاسي لوح التحميل ـ طولـه وعرضـه ـ على مقـاس الركيزة ، فإذا اعتبرنا أن عرض اللوح b هو المقـاس فـي اتجاه مستوى الحمل وأن طوله a هو المقاس عموديا على ذلك المستـوى ، كان العـرض أكبـر من الطول عندما يكون الارتكاز على عمود من الخرسانة المسلحة ، وكان الطول أكبر إذا كان الارتكاز على مخدة خرسانية فوق حائط من المباني كما في شكل (٩ ـ ١١) ويكون سمك اللوح في الحالة الأولى أكبر .



شكل (٩ - ١١)

ويَعمل لوح التحميل بهيئة كابولي مزدوج مرتكز من أعلاه ومحمل من أسفله وبذلك يكون المقطع الحرج في المنتصف حيث عزم الحني (شكل ٩ - ١٢) :

$$M = f_b \times a \times \frac{b}{2} \times \frac{b}{4}$$

$$= \frac{R\,b}{8} \qquad (9-1)$$

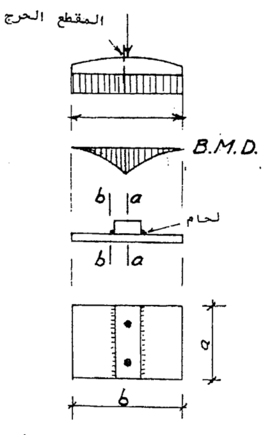
فإذا كان سمك لوح التحميل = t ، كان معاير المقطع الحرج :

$Z = \frac{at^2}{6}$ ويكون عزم مقاومة المقطع

$$M_R = \frac{at^2}{6} \times f_{pt}$$

وبمساواة العزمين :

$$t = \sqrt{\frac{3}{4}\frac{R.b}{a.f_{pt}}} \qquad (9-2)$$



شكل (٩-١٢) حساب لوح التحميل

وعندما يكون لوح التحميل مكونا من قطعتين ملحومتين فإن سمك اللوح السفلي يحدد من المقطع الحرج $b - b$ عند حافة اللوح العلوي . ويلاحظ أنه يجب لحام اللوحين لحاما مستمرا .

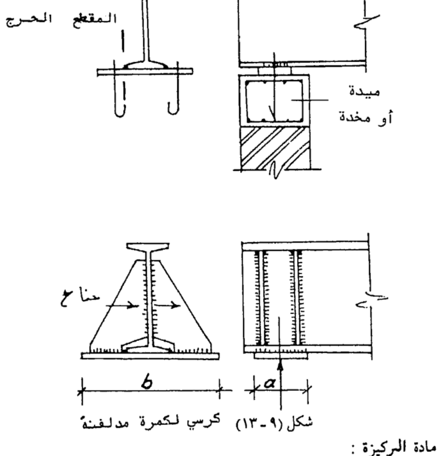
وإذا مر بلوح التحميل جاويطان ، وجب مراعاة ما يفقد من المقطع الحرج $a- a$ بسبب الثقبين .

الكرسي لكمرة مدلفنة :

يكفي في هذه لوح تحميل فقط يلحم بشفة الكمرة عند مرتكزها ويراعى أن يكون عرض اللوح محدوداً حتى يعطي الكمرة حرية الدوران المرن ، كما

يجب أن يتمركز على الجدار أو العمود الحامل . والمقطع الحرج للوح التحميل في هذه الحالة يكون عند حرف شفة الكمرة .

وفي الكمرات الثقيلة حيث يمتد لوح التحميل يمكن سنده **بأجنحة** لزيادة جساءته . وتعمل هذه الأجنحة في الوقت نفسه بهيئة كزازات لمقاومة تحنيب جذع الكمرة .



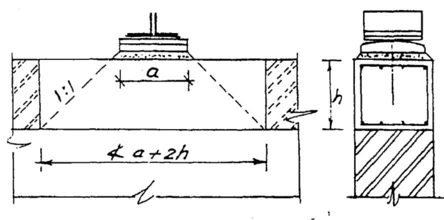
شكل (٩ - ١٣) كرسي لكمرة مدلفنة

مادة الركيزة :

عند تحميل جمالون أو كمرة على مبان فإن اختيار مادة الركيزة يتوقف على مقدار الجهود التي تتعرض لها ، كما يتوقف على ما يؤثر عليها من قوى أفقية .

فإذا كان الحمل رأسيا غير مصحوب بقوى أفقية أو كانت القوة الأفقية ضئيلة أمكن تحميل الجمالون على حائط من المباني ، ولكن لا ينصح أن يكون التحميل على المباني مباشرة ، إلا إذا كانت من حجر على درجة كافية من الصلابة .

فإذا كان الحائط من مباني الطوب أو البلوك فإما أن يزود الحائط بميدة (كمرة مستمرة) من الخرسانة المسلحة تعمل بصفة رابط للمباني ، وإما أن تعمل تحت كل كرسي مخدة من الخرسانة التي يفضل أن تكون مسلحة،وظيفتها توزيع حمل الجمل على الحائط في حدود الجهود المسموح بها لمادته . ومن هنا يحدد طول المخدة وعمقها ، أما عرضها فغالبا ما يكون مساويا لعرض الحائط ويجب التحقق في هذه الحالة من تمركز الكرسي بالنسبة للحائط (شكل ٩ ـ ١٤) .



شكل (٩ ـ ١٤) - المخدة الخرسانية

هذا وقد يزاد سمك الحائط عند الكرسي لزيادة جساءته ومقدرته على التحمل وتعتبر هذه الزيادة عموداً من المباني .

وعندما يكون بحر الجمل كبيرا أو إذا كانت القوى الأفقية محسوسة ، ومن بينها مقاومة الاحتكاك في الكرسي وجب

شكل (٩ ـ ١٥)
مسقط أفقي
لحائط زيد سمكه

تحميل الجمالون على عمودين من الخرسانة المسلحة يعملان في هذه الحالة بهيئة كابولي مثبت عند الأساس . ويحسب العمود ليقاوم الحمل الرأسي وعزم الحني الناشىء عن القوى الأفقية والذي يبلغ أقصاه عند الأساس . والمفروض أن العمود الذي يحمل الكرسي الثابت هو الذي يقاوم القوى الأفقية ولكن العمود الآخر أيضا يتعرض لقوة الاحتكاك في الكرسي ولهذا يجب أن يكون العمودان متماثلين .

ويحسب أساس العمود ليقاوم الحمل من الجمالون ووزن العمود ووزن ما يحمله من جدران وكذلك عزم الحني الناشىء عن القوى الأفقية التي تؤثر على الجمالون وكذلك القوى الأفقية التي تؤثر عليه في كامل ارتفاعه ، ويجب أن تكون الجهود على مستوى التأسيس في حدود تحمل التربة .

الجهود المسموح بها لمادة الركيزة (عن المواصفات المصرية)

ـ الأحجار الصلبة	٤٠ كج / سم٢
ـ الخرسانة المسلحة	٥٠ كج / سم٢
ـ الخرسانة المسلحة تسليحا ثقيلا	٧٠ كج / سم٢

وتزاد هذه القيم بمقدار ٢٠٪ إذا روعي في الحساب أكبر تجميع للأحمال الأساسية ولمؤثرات الجهد الإضافية .

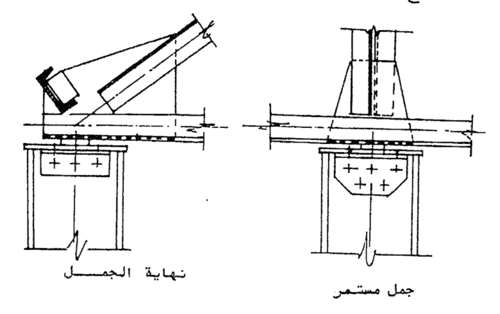
ويلاحظ في حالة الكرسي المنزلق انه اذا كان البحر كبيرا بحيث يكون التغير في الطول كبيرا فان الحمل ينتقل الى الكرسي في غير مركز العقدة وبذلك يحدث عزم حني على براشيم زاويتي الكرسي = $P \times e$ (شكل ٩ ـ ١٦) كما تسبب قوة الاحتكاك عزم حني مقداره $0.2\,P \times t$ يجعل توزيع الجهود على سطح الركيزة غير منتظم .

عدم التمركز عند الكرسي
شكل (٩ ـ ١٦)

ويحدث مثل ذلك التوزيع تحت الكرسي الثابت ، حيث يقاوم القوى الأفقية التي تؤثر على الجمالون وتنتقل عن طريقه إلى الركيزة .

التحميل على عمود فولاذي :

في هذه الحالة يكون لوح التحميل هو لوح الرأس للعمود ويحدّد مقاسه ليناسب مقطع العمود (شكل ٩ - ١٧) .



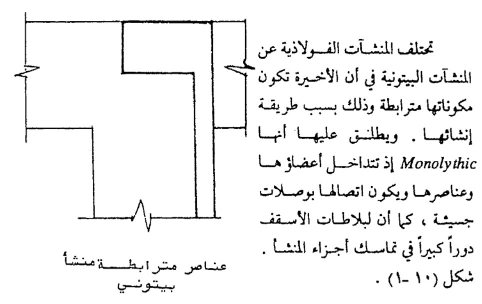
شكل (٩ - ١٧) تحميل جمل على عمود

الفصل العاشر

تربيط المنشآت الفولاذية

(*Bracing of steel structures*)

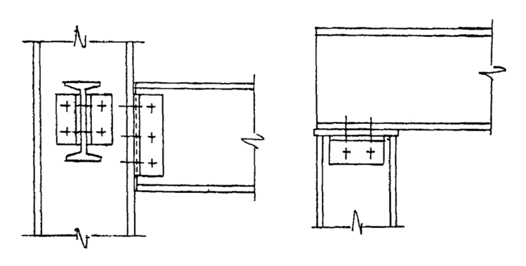
تختلف المنشآت الفولاذية عن المنشآت البيتونية في أن الأخيرة تكون مكوناتها مترابطة وذلك بسبب طريقة إنشائها . ويطلق عليها أنها *Monolythic* إذ تتداخل أعضاؤها وعناصرها ويكون اتصالها بوصلات جسيئة ، كما أن لبلاطات الأسقف دوراً كبيراً في تماسك أجزاء المنشأ . شكل (١٠ ـ١) .

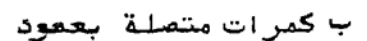


عناصر مترابطة منشأ بيتوني

شكل (١٠ ـ ١)

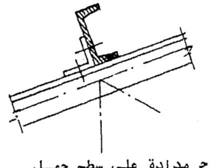
وليس هذا شأن المنشآت المعدنية ، حيث تكون وصلاتها عادة غير جسيئة ، بل لقد اصطلح على تسميتها مفاصل ، رغم أنها ليست مفاصل كاملة إذ أنها تحدث مقاومة للدوران تتسبب في حدوث عزم ، أي أن بها بعض الجساءة شكل (١٠ ـ ٢) .





ب كمرات متصلة بعمود

أ كمرة ترتكز على عمود



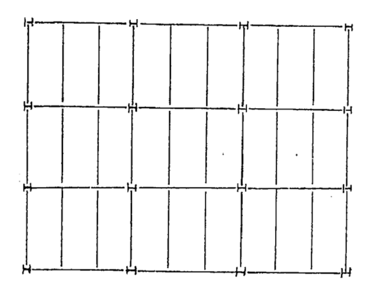
ج مدادة على سطح جمل

شكل (١٠ ـ ٢) اتصال عناصر المنشآت المعدنية

وفي مجال المنشآت المعدنية يجب التمييز بين نوعين من المنشآت :

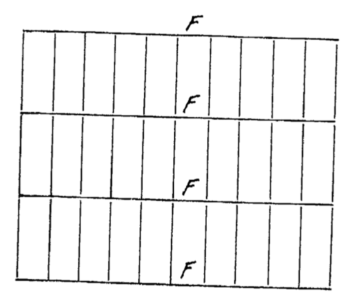
أ ـ منشأ مكون من مجموعة من الأعمدة تحمل كمرات في كلا الاتجاهين كما في المنشآت التي يسمح فيها بوجود أعمدة على مسافات لا تزيد على ستة أمتار (مثلاً) (شكل ١٠ ـ ٣) ، كالمباني التجارية والمخازن والمصانع ذات الأدوار المتعددة . وتعتمد هذه المباني في استقرارها على الجساءة الجزئية في وصلاتها كما تعتمد على أغطية السطح ولا سيما لو كانت من الخرسانة .

فإذا ارتفعت المباني وزاد عدد الأدوار فيها صممت الوصلات لتقاوم عزوم الحني التي تتعرض لها .



شكل (١٠ - ٣)

ب - منشأ مكون من مجموعة من العناصر الرئيسية الحاملة في أحد الاتجاهين مثل الإطارات المرموز لها بالحرف F (شكل ١٠ - ٤) ، ترتكز عليها

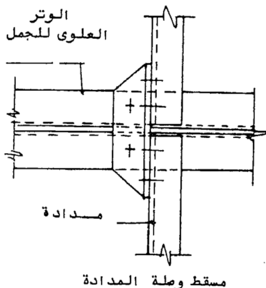


شكل (١٠ - ٤)

عناصر ثانوية تنقل إليها أحمالها وذلك شأن المباني التي تتطلب مساحات كبيرة خالية من الأعمدة . وتكون العناصر الرئيسية قادرة على مقاومة جميع الأحمال والقوى الواقعة في مستواها ، الرأسية منها والأفقية .

وقد سبق أن أوضحنا أن ربط العناصر الثانوية (مدادات السطح) بالكمرات الرئيسية ليس جسيئاً بل أن الوصلة ليست لها أي مقاومة للحني أو الدوران (شكل ١٠ ـ ٢ حـ) و (شكل ١٠ ـ ٥) .

وشبيه بها المدادات الجانبية على الأعمدة ، لذلك فإن مقاومة القوى الأفقية عمودياً على مستوى العناصر الرئيسية وكذلك نقلها إلى الأرض ، وكذلك ارتباط أجزاء المنشأ بعضها ببعض لا يجعل منها منشأ مستقراً .



مسقط وصلة المدادة
شكل (١٠ ـ ٥)

وهنا نورد تعريف المنشأ كما نعتقد أنه أوفق تعريف :

المنشأ : هو تكوين يستقبل ما يلقي إليه من أحمال وما يؤثر عليه من قوى وعليه أن يقاوم تأثيرها بأمان ، أي في حدود الجهد المسموح به لمادته ، ثم يوصل تلك الأحمال والقوى إلى الأرض بأمان أيضاً (من هنا يعتبر الأساس جزءاً من المنشأ) ، وذلك في حدود الجهد المسموح به للتربة .

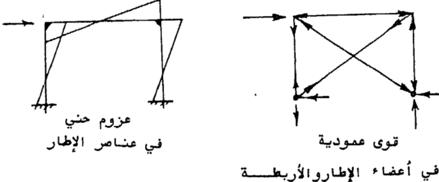
فليس يكفي في درس المنشأ أن نستطيع تصميم جمالون أو إطار ولكن يجب دراسة كيفية اتصالات أجزاء المنشأ بعضها ببعض بحيث يتكون منها تكوين مترابط يحقق الغرض منه .

وليس الغرض من تربيط المنشآت المعدنية قاصراً على أن تعمل أجزاء المنشأ بعضها مع بعض في وحدة ، لمقاومة القوى والأحمال في جميع الاتجاهات ، بل أن للتربيط أغراضاً أخرى هامة نوضحها فيما يلي :

دواعي تربيط المنشآت المعدنية

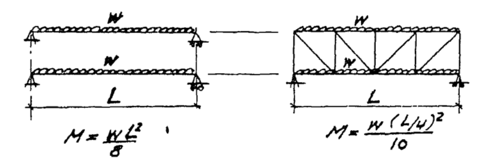
يلزم تربيط عناصر المنشآت المعدنية بأنظمة رأسية أو أفقية أو بأنظمة أفقية ورأسية لبعض الأغراض الآتية أو لجميعها :

أولاً ـ تخليص الإطار من عزوم الحني الناشئة عن القوى المركزة التي تؤثر عليه والتي يمكن نقلها عن طريق الأربطة ، وبذلك يتحول تأثيرها إلى قوى عمودية في أعضاء الإطار وفي الأربطة (شكل ١٠ ـ ٦) .



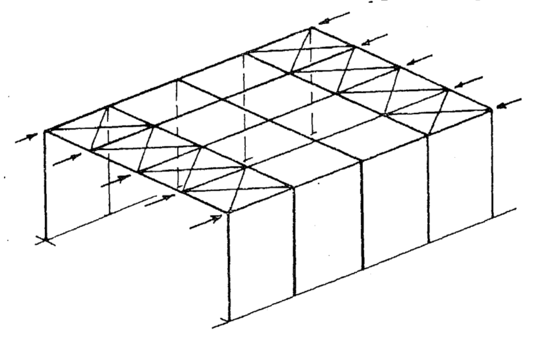
شكل (١٠ ـ ٦)

ثانياً ـ تخفيف عزوم الحني على عنصر مثل الكمرات حيث يتحول معظم تأثيرها إلى قوى عمودية في أجزاء الكمرة . ففي شكل (١٠ ـ ٧) يتبين أن قيمة عزم الحني تنقص إلى $\frac{١}{٢٠}$ عندما تتحول الكمرة إلى جمالون (هذا إضافة إلى القوى العمودية في عناصر الجمالون) .



شكل (١٠ ـ ٧)

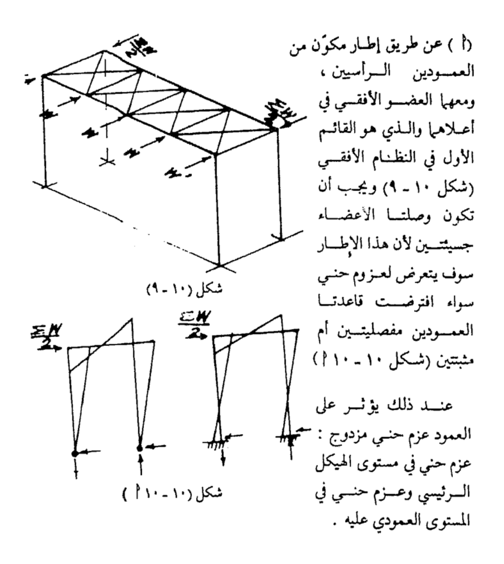
ثالثاً ـ مقاومة القوى الأفقية التي تؤثر على منشأ عمودياً على مستوى الإطارات الرئيسية بحيث لا يحدث في تلك الإطارات عزوم حني في المستوى العمودي على الإطار . والقوى الأفقية سواء أكانت طولية أم عرضية . وسواء أكانت ضغط ريح أم تأثيرات آلات رافعة ، إنما هي قوى منعكسة ولذلك يلزم الاحتياط لها . ففي شكل (١٠ ـ ٨) زُوِّد السطح بنظامين للأربطة لمقاومة القوى الطولية ، كلٌ في جهة .



شكل (١٠ ـ ٨) قوى الريح منعكسة

رابعاً ـ نقل القوى الأفقية التي تؤثر على منشأ عمودياً على مستوى الهياكل الرئيسية حتى لا يحدث بأعضائها عزوم حني . ولما كانت القوى الأفقية تتجمع عند نهايتي نظام الأربطة الأفقي فإنه يلزم إيصالها إلى الأرض . ويتم ذلك عن أحد طريقين :

(أ) عن طريق إطار مكوّن من العمودين الرأسيين ، ومعهما العضو الأفقي في أعلاهما والذي هو القائم الأول في النظام الأفقي (شكل ١٠ ـ ٩) ويجب أن تكون وصلتا الأعضاء جسيئتين لأن هذا الإطار سوف يتعرض لعزوم حني سواء افترضت قاعدتا العمودين مفصليتين أم مثبتتين (شكل ١٠ ـ ١٠ أ)

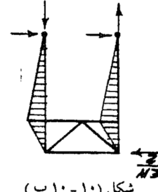

شكل (١٠ ـ ٩)

شكل (١٠ ـ ١٠ أ)

عند ذلك يؤثر على العمود عزم حني مزدوج : عزم حني في مستوى الهيكل الرئيسي وعزم حني في المستوى العمودي عليه .

ولما كان هذا الترتيب كثير التكلفة فإنه لا يُلجأ إليه إلاّ إذا اقتضت الضرورة ذلك .

هذا ويمكن تخفيف عزوم الحني في الاتجاه الطولي بتزويد الإطار بجزء شبكي في أعلاه (شكل ١٠ - ١٠ ب) وبذلك ينقسم طول العمود ويقل طول التحنيب إضافة إلى تقليل عزم الحني فيه ، ولا سيما لو تعرض العمود لقوة أفقية في غير ركنه العلوي .



شكل (١٠ - ١٠ ب)

(ب) عن طريق نظام أربطة فيما بين العمودين ، وبذلك يصبح تأثير القوة الأفقية عبارة عن قوى عمودية في العمودين ، وبالطبع في أعضاء الربط (شكل ١٠ -١١) .

خامساً - مقاومة الهزات الناشئة عن الآلات الدوارة ولا سيما تلك التي تحوي أثقال موازنة ، وكذلك الهزات الناشئة عن التأثير الديناميكي للأحمال المتدحرجة .

شكل (١٠ - ١١)

فالهزات الناشئة عن الآلات الدوارة ، مثلها مثل الهزات الأرضية (الزلازل) ، يمكن تمثيل تأثيرها بتأثير قوى أفقية . أما الهزات الناشئة عن التأثير الديناميكي فيشبه تأثيرها تأثير قوى رأسية . وكلٌ من هذه القوى تجب

مقاومتها وإيصالها إلى الأرض ويكون ذلك عن طريق الأربطة في المستويات الأفقية والرأسية عمودياً على المستوى الرئيسي للإطار .

سادساً ـ سند أعضاء المنشآت :

آ ـ سند وتر الضغط في الجمالون عمودياً على مستوى الجمالون لتقليل طول التحنيب في ذلك الاتجاه . وقد سبقت دراسة ذلك الموضوع بالتفصيل ابتداء من صفحة ١٨٦ .

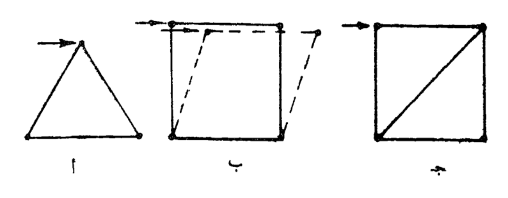
ب ـ سند وتر الشد لزيادة جساءته أي مقدرته على مقاومة الهزات وذلك عن طريق تقليل طوله الحر .

حـ ـ سند العمود لتقليل طوله الحر المعرض للتحنيب في أحد الاتجاهين أو كليهما . ويبين الشكل (١٠ ـ ١١) أن الطول الحر للعمود في (ب) نصف طوله في (آ) .

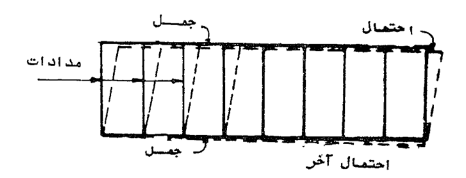
د ـ سند شفة الضغط في كمرة (عمودياً على مستوى الجذع) لمقاومة التحنيب العرضي للشفة .

سابعاً ـ ضبط استقامة المنشأ والمحافظة على زواياه أثناء أعمال التركيب . فالمثلث هو الشكل الذي يحتفظ بزواياه مهما كانت اتصالات أعضائه بعضها ببعض ، سواء أكان الاتصال على هيئة مفاصل أم كان اتصالاً جسيئاً (شكل ١٠ ـ ١٢ أ) . بينما الشكل الرباعي لا يحتفظ بزواياه (شكل ١٠ ـ ١٢ ب) إلاّ إذا كانت اتصالات أعضائه جسيئة . كما يحتفظ الشكل الرباعي بزواياه إذا أضيف إليه قطر (شكل ١٠ ـ ١٢ حـ) .

فالمبنى المكوّن من جملين ومدادات لا يمكن ضبط زواياه طالما كانت وصلات المدادات بالجملين غير جسيئة (شكل ١٠ ـ ٢ حـ) . فقد يتوازى الجملان ولكنهما لا يصنعان مستطيلاً بل متوازي اضلاع (شكل ١٠ ـ ١٣) كما يمكن أن يميل أحد الجملين على الآخر . كما يمكن أن يحدث كلا الخطأين .

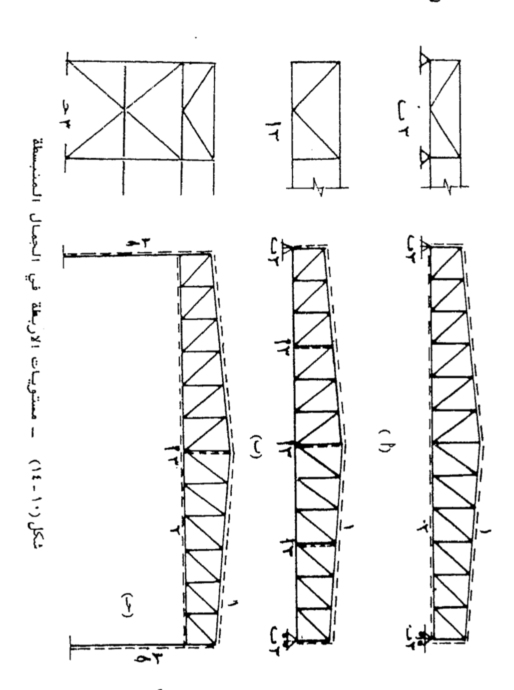


شكل (١٠ - ١٢)

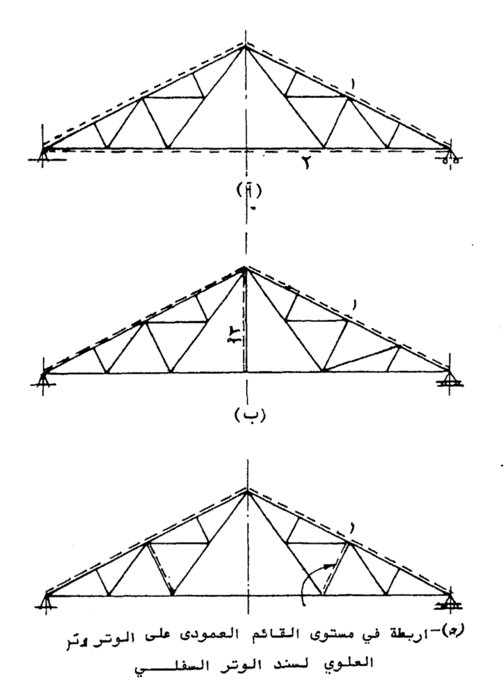


شكل (١٠ - ١٣)

وتعمل أقطار أنظمة الأربطة في كل من نهايتي المبنى على تلافي هذه الأخطاء المحتملة . كما تضبط الأربطة في المستويات الرأسية الأوضاع الرأسية للمبنى



شكل (١٠-١٤) – مستويات الأربطة في الجمال المنبسطة

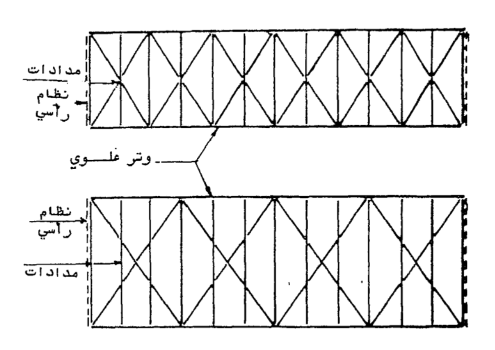


(جـ)-اربطة في مستوى القائم العمودى على الوتر وتر
العلوي لسند الوتر السفلـــي

شكل (١٠-١٥) مستويات الاربطة في الجمال المنحدرة

١ ـ في مستوى الوتر العلوي :

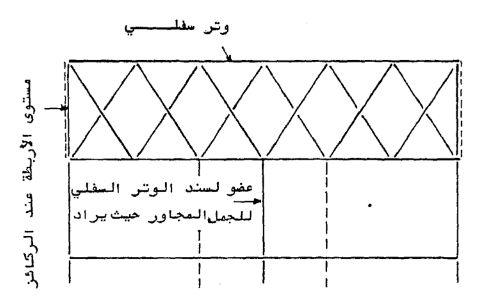
حيث يكون وتراه هما الوترين العلويين لجملين متجاورين وحيث تكون مدادات السطح قوائمه . ويعمل هذا النظام على سند الوتر العلوي عمودياً على مستوى الجمل وعلى مقاومة ما يتعرض له الجمل من قوى ريح عمودية على مستواه عند ذلك المنسوب ، ثم نقل تلك القوى إلى الأنظمة الرأسية في الجوانب أو إلى ركائز الجمال حيث أن النظامين الرأسيين عند الركائز أو في الجوانب تعتبر أنها الركائز لتلك الأربطة العلوية .



شكل (١٠ - ١٦) ـ الاربطة في مستوى الوتر العلوي

٢ ـ في مستوى الوتر السفلي:

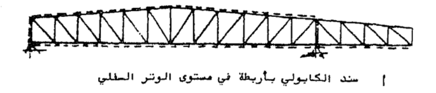
حيث يكون وتراه هما الوترين السفليين جملين متجاورين وإذا اقتضى الأمر أن يكون لهذا النظام قوائم أضيفت له أعضاء . ويعمل هذا النظام على سند الوتر السفلي عمودياً على مستوى الجمل وعلى مقاومة ما يتعرض له الجمل من قوى عمودية على مستواه عند ذلك المستوى سواء أكانت قوى الريح أم



شكل (١٠ ـ ١٧) الأربطة في مستوى الوتر السفلي

القوى الطولية للمرفاع وحيد القضيب *(Monorail)* حيث ينقلها إلى الركائز (إذا كان الجمل مرتكزاً على مبان) أو إلى الجوانب إذا كان الجمل مرتكزاً على أعمدة فولاذية . حيث أن ركائز الجملين في الحالة الأولى والأربطة الرأسية بين الأعمدة في الحالة الثانية هي الركائز لتلك الأربطة السفلية . (شكل ١٠ ـ ١٧) .

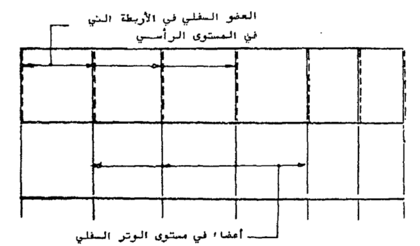
ويصبح سند الوتر السفلي أساسياً عندما يكون في حالة ضغط ، كما في الكابولات (شكل ١٠ ـ ١٨) .



أ سند الكابولي بأربطة في مستوى الوتر السفلي



ب - سند الكابولي بأربطة في المستوى الرأسي



جـ مسقط أفقي للأربطة في المستويات الرأسية في (ب)

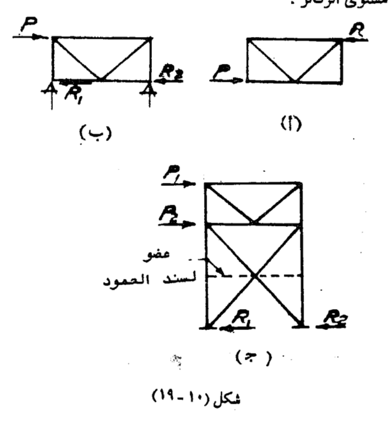
شكل (١٠-١٨) أنظمة الأربطة في الكابولات

٣ ـ الأربطة في المستوى الرأسي :

وهي تستعمل في الأوضاع التالية :

أ ـ أنظمة الأربطة في المستويات الرأسية المتوسطة : يمكن أن تحل أنظمة الأربطة في المستوى الرأسي محل الأربطة في المستوى الأفقي (كما في شكل ١٠ ـ ١٤ ب وشكل ١٠ ـ ١٨ ب وحـ) حيث تعمل على سند أيٍّ من الوترين لمقاومة تحنيه عمودياً على مستوى الجمل ، كما تعمل على نقل القوى التي تؤثر عمودياً على مستوى الجمل من أحد المستويين إلى المستوى الآخر (شكل ١٠ ـ ١٨ أ وب) .

ب ـ أنظمة الأربطة في المستوى الرأسي عند الكراسي : وهذه الأنظمة أساسية حيث تمثل الركائز للأربطة العلوية (شكل ١٠ ـ ١٩ أ وب) . وتنتقل القوى التي تؤثر على أربطة العلوية إلى الركائز خلال الأربطة الرأسية في مستوى الركائز .



شكل (١٠ ـ ١٩)

جـ - أنظمة الأربطة في مستوى الأعمدة : وهذه الأنظمة أساسية أيضاً فهي تعمل على نقل القوى التي تؤثر عمودياً على الجمالون سواء أكانت في مستوى الوتر العلوي أم في مستوى الوتر السفلي أم في كليهما من قوى ريح أو قوى مرفاع وحيد القضيب وكذلك القوى التي تؤثر في مستوى الأعمدة مثل قوى الريح وقوى مرفاع علوي سيار ، إضافة إلى أنه يمكن الاستفادة من هذه الأنظمة في سند الأعمدة في الاتجاه العمودي على مستوى الجمل وبذلك يقل طول التحنيب في ذلك الاتجاه .

تجدر ملاحظة أن نظام الأربطة المستخدم لسند أعضاء الضغط من أوتار وأعمدة يجب أن يكون مستمراً بطول المنشأ ، ويكون ذلك عن طريق قوائم في ذلك الاتجاه . وتعمل مدادات السطح في أربطة الوتر العلوي عمل القوائم .

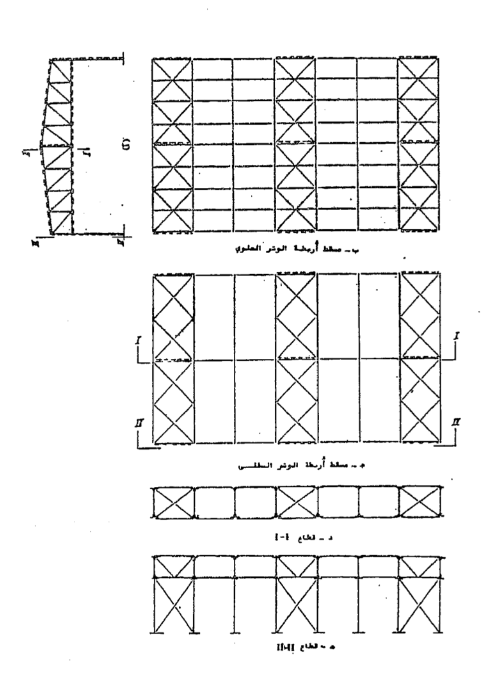
وإذا كان غطاء السطح بلاطة من الخرسانة المسلحة كان فيه غناء عن نظام الأربطة في مستوى الوتر العلوي . إلاّ أنه من المفيد استخدام أربطة لضمان حسن التركيب . وهذه الأربطة يمكن فكها بعد تمام صب بلاطة السطح .

ويوضح الشكل ١٠ - ٢٠ رسماً متكاملاً لتربيط مبنى :

أنظمة الأربطة

يتوقف ترتيب أنظمة الأربطة على تحقيق الغرضين الرئيسيين من استخدام الأربطة وهما أولاً سند أعضاء الضغط جانبياً أي عمودياً على مستوى الهيكل الرئيسي وذلك لمقاومة التحنيب وثانياً مقاومة القوى الأفقية ثم نقلها إلى الأرض .

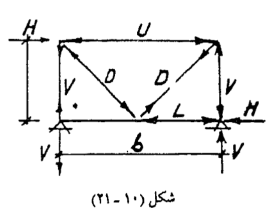
ويتوقف اختيار نظام الأربطة على مقاس البانوه الذي يحتوي على قطري الأربطة حيث يفضل أن تكون زاوية ميل القطر فيما بين ٣٥ و ٥٥ درجة إذ أن الميل القليل يتطلب مقاساً أكبر للوح التجميع الذي يربط به القطر .


ب ـ مسقط أربطة الوتر العلوي
جـ ـ مسقط أربطة الوتر السفلي
د ـ قطاع I-I
هـ ـ قطاع II-II

شكل (١٠-٢٠)

وتأخذ الوحدة التي تتكون منها الأربطة أحد الأشكال التالية :

١ ـ أقطار على شكل K أو شكل V وهي ملائمة للبانوه المستطيل الشكل وتصنع الأقطار مع باقي أعضاء البانوه نظاماً مقرراً استاتيكياً . (شكل ١٠ ـ ٢١) فإذا تعرض النظام لقوة H ، كانت القوى في أعضاء البانوه كما يلي :



شكل (١٠ ـ ٢١)

$$S_U = -\frac{H}{2}$$

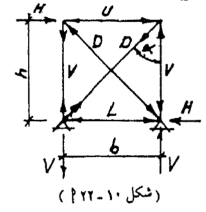
$$S_D = \pm \frac{H}{2\sin\alpha}$$

$$S_L = -H$$

$$S_V = \pm\frac{H.h}{b}$$

٢ ـ أقطار متقاطعة (على شكل X) وهي ملائمة للبانوه المربع أو القريب من المربع الشكل . ونظام الأربطة في هذه الحالة غير مقرر استاتيكياً . إلاّ أنه يمكن حساب القوى في أعضائه بإحدى طريقتين :

أ ـ أن يكون القطران عاملين ؛ أي أنهما يقاومان معاً القوة التي تؤثر على البانوه وبذلك يتعرض أحدهما لقوة شد والآخر لقوة ضغط (شكل ١٠ ـ ٢٢ أ) وتكون القوى في الأعضاء كما يلي :



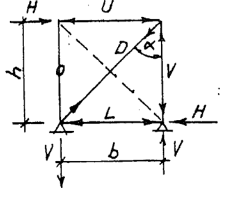
(شكل ١٠ ـ ٢٢ أ)

$$S_U = S_L = -\frac{H}{2}$$

$$S_D = \pm \frac{H}{2 \sin \alpha}$$

$$S_V = \pm \frac{Hh}{2b}$$

ب ـ أن يعمل قطر الشد فقط ؛حيث يفترض أن القطر الذي يتعرض لضغط غير قادر على مقاومته فيتحنب وبذلك يقاوم القطر الآخر كل القوة المؤثرة على البانوه (شكل ١٠ ـ ٢٢ ب) ، وتكون القوى في الأعضاء كما يلي :



شكل (١٠ ـ ٢٢ ب)

$$S_U = S_L = -H$$

$$S_D = + \frac{H}{\sin \alpha}$$

$$S_V = -\frac{Hh}{b}$$

٣ـ أقطار على شكل المعين ، وهي ملائمة أيضاً للبانوه المربع أو القريب من المربع الشكل . ونظام الأربطة في هذه الحالة ينقصه عضو لاستكمال استقراره وإن كان مثل هذا العضو لا يتعرض لقوة . أما باقي الأعضاء فالقوى فيها كما يلي :

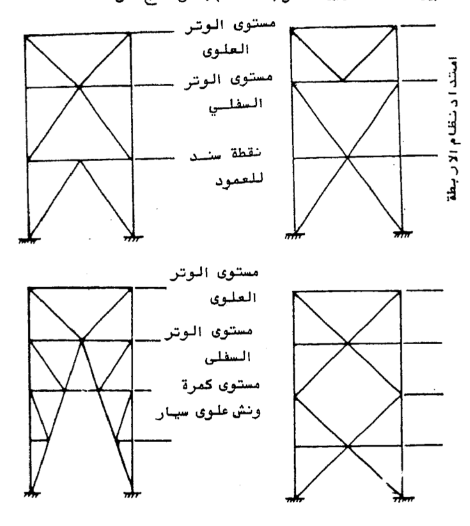
شكل (١٠ ـ٢٣)

$$S_u = S_L = -H$$

$$S_D = \mp \frac{H}{2 \sin \alpha}$$

$$S_V = \pm \frac{Hh}{b}$$

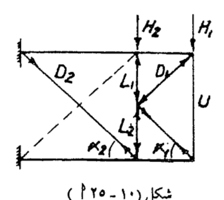
٤ ـ أنظمة متعددة في مستو واحد . وأغلب ما تكون هذه في المستويات الرأسية بين الأعمدة . ويبين شكل (١٠ ـ ٢٤) بعض نماذج لمثل هذه الأنظمة .



شكل (١٠ ـ ٢٤) الاربطة في مستوى الاعمدة

وتحسب القوى في الأربطة بين الأعمدة باعتبار النظام كابولي ، يُحَل من طرفه الحر (شكل ١٠ ـ ٢٥) .

أ ـ (شكل ١٠ ـ ٢٥ أ)



شكل (١٠ ـ ٢٥ أ)

$$S_U = -\frac{H_1}{2}$$

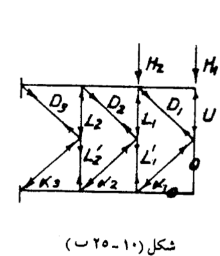
$$S_{D1} = \pm \frac{H_1}{2 \sin \alpha_1}$$

$$S_{D2} = \frac{H_1 + H_2}{\sin \alpha_2}$$

$$S_{L1} = -H_2$$

$$S_{L2} = -(H_1 + H_2)$$

ب ـ (شكل ١٠ ـ ٢٥ ب) :



شكل (١٠ ـ ٢٥ ب)

$$S_U = -H_1 \text{ or } o$$

$$S_{D1} = \pm \frac{H_1}{2 \sin \alpha_1}$$

$$S_{L1} = -(H_2 + \frac{H_1}{2}) \text{ or } + \frac{H_1}{2}$$

$$S_{D2} = \pm \frac{H_1 + H_2}{2 \sin \alpha_2}$$

$$S_{L2} = \pm \frac{H_1 + H_2}{2}$$

$$S_{D3} = \pm \frac{H_1 + H_2}{2 \sin \alpha_3}$$

ويجب ملاحظة أن القوى الأفقية ، سواء أكانت قوى ريح أم قوى ناشئة عن حركة الأوناش هي دائماً قوى منعكسة ، وبالتالي فإن القوى في أعضاء الأربطة تنعكس ، أي تتبادل بعضها مع بعض ، مما يقتضي حساب الأعضاء على أسوأ الظروف .

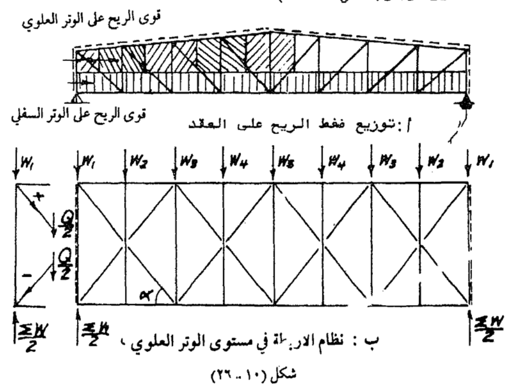
حساب القوى في أنظمة الريح الأفقية

لما كانت أنظمة الريح الأفقية تقاوم قوى الريح عمودياً على مستوى الجمل ، فإن هذه القوى لا تظهر بكاملها إلا إذا كانت نهاية المبنى مغطاة بألواح من الصاج المجلفن أو الألمنيوم أو الإترنيت سواء أكانت تلك الألواح مستوية أم مموجة ، وعندئذ تتوقف القوى التي تؤثر على أي من الأنظمة الأفقية على المستوى الذي تقع فيه تلك الأربطة وعلى الطريقة التي تنتقل بها تلك القوى إلى النظام الأفقي . وكذلك الحال بالنسبة للقوى الطولية الناشئة عن حركة مونوريل معلق بالأوتار السفلى للجمال .

الحالة الأولى :

ـ جمال محملة على أعمدة خرسانية أو على حوائط .

أ ـ نظام أفقي واحد في مستوى الأوتار العلوية ، مع نظامين رأسيين في مستوى الركائز (شكل ١٠ ـ ٢٦) .



شكل (١٠ ـ ٢٦)

تقسم المساحة المغطاة قسمين أعلاهما للوتر العلوي وأسفلهما للوتر السفلي ولما كان الوتر السفلي في الإتجاه العمودي على الجمل قليل الجساءة فإنه من المنتظر أن يتحمل الوتر العلوي مساحة أكبر من الوتر السفلي . وتركز قوى الريح عند عقد الوتر العلوي بينما يتعرض الوتر السفلي لعزم حني في الاتجاه العمودي على مستوى الجمل بتأثير قوى ريح موزعة بانتظام باعتبار بحر الوتر في ذلك الاتجاه هو المسافة بين الركيزتين .

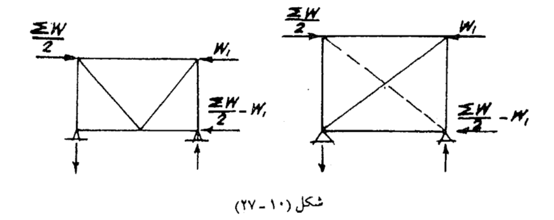
لما كان وترا النظام العلوي هما الوتران العلويان للجملين الرئيسين ، وكانت القوائم في هذا النظام هي مدادات السطح ، لزم إضافة الأقطار لتكملة ذلك النظام كما يلزم حساب القوى في تلك الأقطار . ولما كانت القوى في الأقطار أكبر ما يمكن عند الركائز فيكتفي عادة بحساب تلك الأقطار . وتحسب القوى في الأقطار من واقع قوة القص في البانوه الذي يشتمل على القطر المطلوب .

قوة القص في البانوه الأول $$Q = \frac{\Sigma W}{2} - W_1$$

القوة في كل من القطرين الأولين $$S_D = \pm \frac{Q}{2 \sin \alpha}$$

حيث α هي زاوية ميل القطر على الوتر .

وتؤثر على نظام الأربطة الرأسي عند الركيزتين قوتان أفقيتان في أعلاه (شكل ١٠ ـ ٢٧) .



شكل (١٠ ـ ٢٧)

وركيزتا هذا النظام هما ركيزتا الجملين الرئيسيين ، ولكن ارتكاز النظام الرأسي عليهما ليس ارتكازاً بسيطاً بالنسبة لحساب ردي الفعل الأفقيين ، ويكون الحساب في جانب الأمان إذا افترضنا أن هناك رد فعل واحد عند إحدى الركيزتين ولا سيما تلك التي تسبب ضغطاً في العضو السفلي . ونحسب القوى في الأعضاء كما سبق بيانه .

أما قوى الريح التي تؤثر على الوتر السفلي للجمل الرئيسي فإنه يمكن القول إنها تنتقل مباشرة إلى الركيزتين حيث أن الركيزتين ثابتتان في الاتجاه العمودي على الجمل الرئيسي ،

ب ـ نظام أفقي في كل من مستوى الأوتار العلوية والأوتار السفلية ، مع نظامين رأسيين عند الركائز (شكل ١٠ ـ ٢٨) .

في هذه الحالة تقسم المساحة المغطاة بالتساوي فيما بين الوترين العلوي والسفلي وتركز قوى الريح عند عقد نظام الأربطة في مستوى الوتر العلوي وفي مستوى الوتر السفلي ويلاحظ أن نظام الأربطة السفلي عندما لا يحوي قوائم تكون أقطاره أطول وذلك يتطلب مقاطع أكبر . كما وأنه في مثل هذا النظام يمكن اعتبار أن أقطار الشد فقط هي الفعالة .

وفي أنظمة الأربطة ـ مثلها مثل الجمال متوازية الوترين ـ تكون القوة الكبرى في القطر الأول ـ أو القطرين الأولين ـ وتحسب القوى في قطري الأربطة السفلية بإحدى طريقتين :
القوى في قطري الأربطة السفلية بإحدى طريقتين :

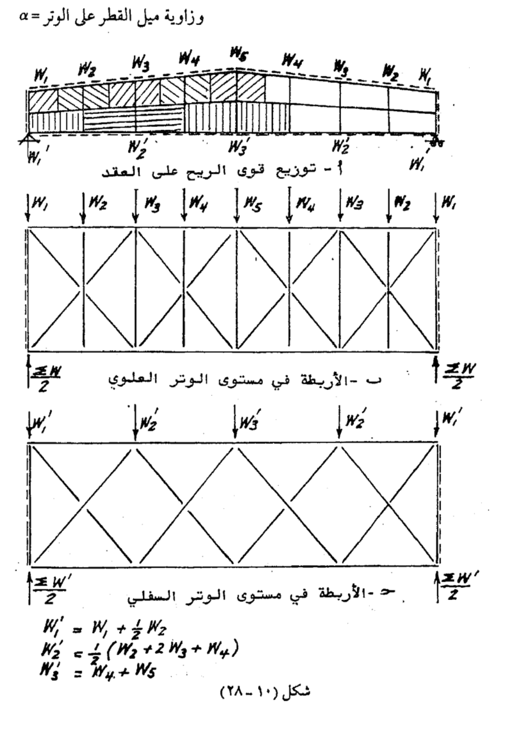
أ ـ القطران يعملان :
$$S_D = \pm \frac{Q}{2\sin\alpha}$$

ب ـ قطر الشد فقط يعمل :
$$S_D = + \frac{Q}{\sin\alpha}$$

حيث:

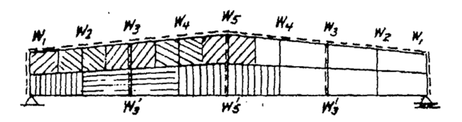
$$Q = \frac{\Sigma W'}{2} - W_1'$$

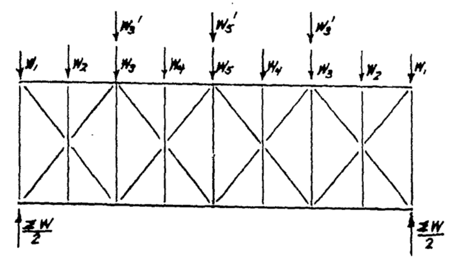
وزاوية ميل القطر على الوتر = α



شكل (١٠ - ٢٨)

حـ - نظام أفقي في مستوى الأوتار العلوية ، مع أنظمة رأسية في بعض المواقع اضافة الى النظامين الرأسيين عند الركائز (شكل ١٠ - ٢٩)





شكل (١٠ - ٢٩)

في هذه الحالة تؤثر القوى على النصف العلوي من المسطح على نظام الأربطة العلوي موزعة بانتظام عند العقد (القوى W_1) أما القوى على النصف السفلي من المسطح فتنتقل خلال الأربطة الرأسية إلى نظام الأربطة العلوي ، مركزة في مواقع الأربطة الرأسية.

وتنتقل القوى من النظام الأفقي في مستوى الوتر العلوي إلى الركائز خلال النظامين الرأسيين عند الركائز.

وتحسب القوة في القطر الأول ـ أو في القطرين الأولين ـ والتي هي أكبر ما يمكن ـ بالطريقة نفسها التي اتبعت في الحالة السابقة .

الحالة الثانية

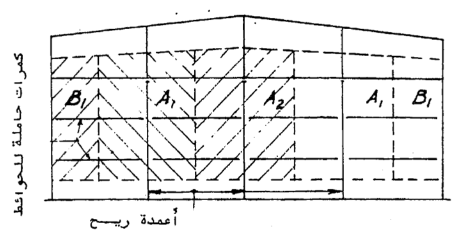
جمال محملة على أعمدة فولاذية ، بما في ذلك عمودا النهاية ، مكونةً إطارات . فإذا كانت النهاية مقفلة أي مغطاة بألواح معدنية (من الفولاذ المجلفن أو الألمنيوم) أو ألواح إترنيت أو كانت حائطاً من مباني الطوب أو البلوك فإنه بسبب اتساع رقعة هذه النهاية فإنها يلزم تزويدها بأعمدة تسمى أعمدة الريح تحمل كمرات على أبعاد تناسب أطوال ألواح التغطية أو تناسب الارتفاع المعتاد للمباني بالنسبة للسمك المقترح لها .

ويمكن أن تأخذ الأربطة في هذه الحالة أحد نظامين :

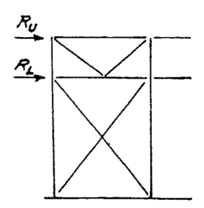
أ ـ تزود نهاية المبنى فيما بين الإطارين الأخيرين بأربطة أفقية في مستوى الوتر السفلي إضافة إلى الأربطة الأفقية في مستوى الوتر العلوي.

في هذه الحالة يقاوم نظام الأربطة الذي في مستوى الوتر العلوي ضغط الريح على الجزء العلوي من مسطح الجمل ، بينما يقاوم نظام الأربطة الذي في مستوى الوتر السفلي ضغط الريح على الجزء السفلي من مسطح الجمل ، كما يقاوم ضغط الريح على حائط النهاية الذي ينتقل إليه على هيئة قوى مركزة عن طريق أعمدة الريح ، كل في المساحة التي يشغلها من مسطح الحائط (المساحات A) .

وتنتقل القوى من هذين النظامين إلى الأساسات عن طريق نظام الأربطة الرأسي في كل من الجانبين . فتؤثر في العقدة العليا من النظام الرأسي القوة R_U وتساوي رد فعل أربطة الريح العلوية . وتؤثر عند العقدة التالية القوة R_L وتساوي رد فعل نظام الأربطة السفلي مضافاً إليه ضغط الريح على المساحة B_1 الذي ينتقل خلال عمود الركن . وتحسب القوى في أعضاء الأربطة الرأسية كما سبق (شكل ١٠ ـ ٢٥) .



واجهة النهاية



جزء من الواجهة الجانبية

شكل (١٠ - ٣٠)

ب - يزود المبنى فيما بين الجملين الأخيرين بأربطة رأسية عند مواقع أعمدة الريح إضافة إلى الأربطة الأفقية في مستوى الوتر العلوي .

وفي هذه الحالة ينتقل ضغط الريح الذي يؤثر على حائط النهاية كما يلي :

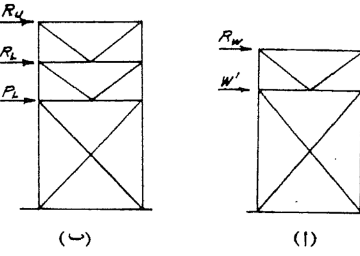
- ضغط الريح على الجزء العلوي من مسطح الجمل وينتقل مباشرة خلال نظام الأربطة العلوي إلى نظامي الأربطة الرأسية الجانبيين .

- ضغط الريح على الجزء السفلي من مسطح الجمل مضافاً إليه ضغط الريح

على المساحات التي تشغلها أعمدة الريح أي التي تنتقل أحمالها إليها وينتقل كلاهما إلى عقد تقابل أعمدة الريح مع الأربطة الرأسية . ومن هذه العقد تنتقل القوى إلى أربطة الريح العلوية ومنها إلى نظامي الأربطـة الـرأسية الجانبيين .

- أما ضغط الريح على كل من المساحتين الطرفيتين (B_1) من نهاية المبنى ذاته فينتقل خلال عمود الركن إلى العقدة التالية من النظام الرأسي .

أي أنه في هذه الحالة يتنقل معظم ضغط الريح الى نظام الأربطة العلوية الذي ينقلها إلى النظامين الرأسيين الجانبيين (شكل ١٠ ـ ٣١) .



شكل (١٠ ـ ٣١)

- في المباني الصناعية التي تشتمل على ونش علوي سيار فإن الأربطة الـرأسية الجانبية يجب أن تقاوم قوة الفرملة الطولية للونش وتنقلها إلى الأساسـات وبذلك يجب أن يكون لنظام الأربطة الرأسية عقد عند مستوى كمرة الونش أي عند تقابل المستوى الذي تؤثر فيه القـوة الطـولية للـونش مع مستـوى الأعمدة .

وفي النظام الموضح بشكل (١٠ ـ ٣١ ب) يقاوم القطران العلويان قوة الريح الأفقية R_u عند العقدة العليا بينما يقاوم القطران التاليان قوة الريح

الأفقية R_U مضافاً اليها قوة الريح R_L عند مستوى الوتر السفلي . أما القطران المتقاطعان فيقاومان قوتي الريح مضافاً إليها القوة الطولية للونش P_L .

الحالة الثالثة

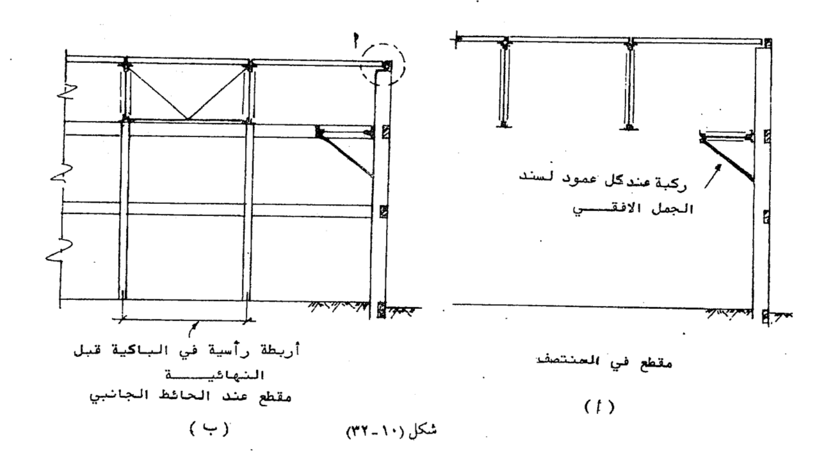
أن تكون الحوائط عبارة عن هيكل من الخرسانة المسلحة مكون من أعمدة حاملة للجمالونات وكمرات حاملة للحوائط التي يتوقف تباعدها في الاتجاه الرأسي على ارتفاع الحائط والمادة المبني بها وسمكه وعلى ترتيب النوافذ وغير ذلك ، ويشمل هذا كلاً من حائطي النهاية . وكثيراً ما يستغنى عن الجمل في نهاية المبنى بحيث يستمر الحائط حتى منسوب السطح حيث ترتكز عليه المدادات في الباكية الأخيرة ، ويحدث هذا على الأغلب عندما لا يكون هناك احتمال لامتداد المبنى من أي من نهايتيه .

ويكون حائط النهاية في هذه الحالة قائماً بذاته بحيث أنه كلما كان الحائط عريضاً أو كلما كان مرتفعاً أو كلما كان عريضاً ومرتفعاً ازداد تأثير الريح عليه ؛ لأنه تحت تأثير الريح يعمل بصفة كابولي وتتحمل الأعمدة عبء مقاومة ذلك التأثير وهذا تكون الأعمدة كبيرة المقطع كثيرة التكلفة .

من أجل ذلك كان سند الأعمدة الخرسانية عمودياً على مستوى الحائط أمراً ضرورياً ، ويتم ذلك بإحدى طريقتين

الأولى - بواسطة مدادات السطح بالباكية النهائية ولا يمكن اعتبار هذه المدادات ساندة إلا إذا صممت على اعتبار أنها أعضاء ضغط ، وفي هذه الحالة يلزم عمل نظام أربطة لسند المدادات نفسها. إضافة إلى نظام أربطة الريح الذي يجب وضعه في الباكية النهائية ، وتكون الزاوية الحاملة للمدادات ومعها الكمرة العليا وتر نظام الأربطة هذا.

وتنتقل قوى الريح على حائط النهاية عن طريق ذلك النظام إلى نظامي الأربطة الرأسية في الباكية قبل النهائية .



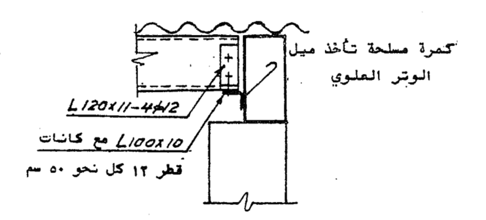
مقطع في المنتصف

(أ)

مقطع عند الحائط الجانبي

(ب)

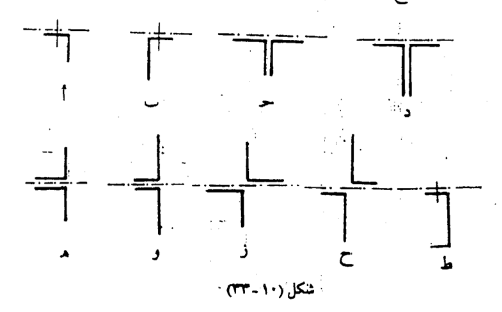
شكل (١٠ـ٣٢)



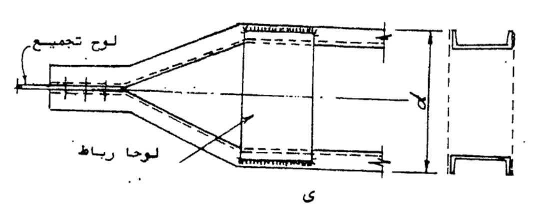
جـ - تفصيلـــة (أ)

تابع شكل (١٠-٣٢)

الثانية - عن طريق جمالون أفقي في مستوى الكمرة الخرسانية عند منسوب الوتر السفلي ويكون لهذا الجمل عقلعند أعمدة الريح وبذلك يصمم هذا الجمل على مقاومة قوى الريح التي تنقلها تلك الأعمدة إليه . ثم تنتقل قوى الريح من الجمل إلى الكمرتين الخرسانيتين الممتدين في الجانبين حيث تقاومها جميع الأعمدة الجانبية (شكل ١٠ - ٣٢) .



شكل (١٠-٣٣)



ى

تابع شكل (١٠-٣٣)

ويُسند الجمل الأفقي في الاتجاه الراسي عن طريق رُكَب (Knee Brace) عند كل عمود ، أما في الجانبين فيسند بالكمرتين الجانبيتين حيث تمثل كل منهما الركيزة الأفقية للجمل .

اختيار المقطع لأعضاء الأربطة

إذا لم تكن هناك قوى محددة محسوبة تقاومها أعضاء الأربطة فإن تلك الأعضاء تُختار بحيث تتوافر فيها الشروط التالية :

أ ـ شرط العمق : العضو الذي يقع في مستو أفقي أو يميل قليلاً على الأفقي يجب ألا يقل عمقه عن $\frac{1}{40}$ من طوله الحر (أو مسقط ذلك الطول على المستوى الأفقي أي :

$$\frac{L}{d} \ngtr 40$$

ب ـ شرط الجساءة : يجب ألا تزيد نسبة النحافة عن القيم التالية :

لأعضاء الضغط $\frac{L_b}{r} \ngtr 240$

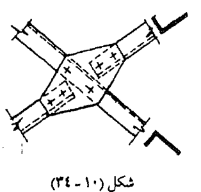
لأعضاء الشد $\frac{L_b}{r} \ngtr 350$

حيث L_b هو طول التحنيب كما تحدده المواصفات .

المقاطع المستخدمة لأعضاء الأربطة

أوضحنا في البند السابق أن طول عضو الأربطة له تأثير على شكل المقطع المختار . ولما كان لكل عضو طولا في مستوى الأربطة وطولا في الاتجاه العمودي على ذلك المستوى ، لزم أن يناسب شكل المقطع كلاً من هذين الطولين (على قدر الإمكان) . ويبين شكل (١٠ ـ ٣٣) المقاطع التي تستخدم لأعضاء الأربطة :

١ ـ الزاوية المنفردة ـ متساوية (أ) أو غير متساوية (ب) وتكون رجل الزاوية الطويلة في اتجاه الطول الحر الأكبر أي أن الرجل الصغيرة للزاوية تكون هي المربوطة حيث يكون لوح التجميع واقعاً في مستوى الأربطة . ويبين شكل (١٠ ـ ٣٤) وصلة تقاطع عضوي أربطة مقطعهما زاوية غير متساوية . ويجب ملاحظة أن هذه الوصلة غير مركزية مما يقتضي خفض الجهود المسموح عند حساب المقطع ليقاوم قوة محددة سواء أكانت قوة شد أم ضغط .



شكل (١٠ ـ ٣٤)

٢ ـ زاويتان متظاهران على جانب واحد من لوح التجميع ، متساويتان (حـ) أو غير متساويتين (د) . ولا يستعمل هذا المقطع ذي الوصلة غير المركزية إلا إذا اقتضت الظروف ذلك لتحقيق الخلوص المطلوب .

٣ ـ زاويتان متظاهرتان متمركزتان متساويتان (هـ) أو غير متساويتين (و) وهذه تعطي عمقاً كبيراً ، كما أن هذا المقطع يناسب الأقطار المتقاطعة حيث يتباين طولا التحنيب . وهنا يمكن الاستفادة الكاملة من مساحة المقطع .

٤ ـ زاويتان بشكل نجمة متساويتان (ز) أو غير متساويتين (ح) وهذا المقطع أكثر فائدة في حالة الأعضاء المنفردة ولا سيما قوائم نُظُم الأربطة .

٥ ـ مقطع مجرة منفرد (ط) ويمتاز بكبر عمقه فهو أصلح للأعضاء الأكبر طولا ، ويمكن أن تربط شفته بلوح تجميع واحد أو تربط كل من شفتيه بلوح تجميع .

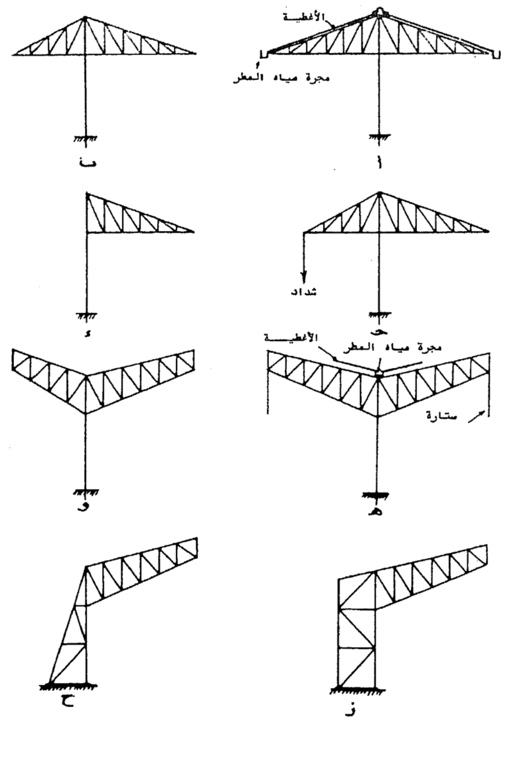
٦ ـ مقطعا مجرة متظاهران متباعدان (ي) حيث يمكن الحصول على العمق المناسب لطول العضو مع ازدياد الجساءة بدرجة كبيرة . ويُضَم المقطعان عند اتصالهما بلوح التجميع المنفرد عند الكمرة الرئيسية أما عند تقاطع قطرين من هذا المقطع فيستخدم لوحا تجميع لكي يظل المقطع بكامل عمقه .

أربطة المظـلات :

من أكثر المنشآت المعدنية استخداماً لغير الأغراض الصناعية المظلات ، ونقصد بها هنا المظلات الكابولية . ومن أشكال هذه المظلات المظلة ذات الكابولين المتساويين أو الكابولين غير المتساويين ومنها المظلة ذات كابول من جهة واحدة يحملها عمود منفرد أو عمود مركب (شكل ١٠ ـ ٣٥) .

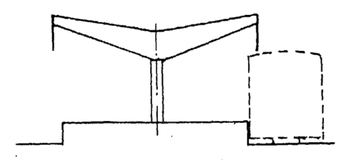
وفي الحالات جميعاً تتعرض الأعمدة الحاملة للكابولات إلى عزوم حني . ويكون عزم الحني ضئيلاً في حالة الكابولين المتساويين ولكنه يزداد كلما صغر طول أحد الكابولين عن الآخر حتى يبلغ عزم الحني أقصاه للكابول المنفرد مما يقتضي في كثير من الأحيان جعل العمود مركباً (شكل ١٠ـ٣٥ز ،ح)

وتقسم المظلات بحسب ميل سطحها إلى نوعين : المسنمة كما في الأشكال (١٠ ـ ٣٥ آ إلى د) والمقعرة كما في أشكال (١٠ ـ ٣٥ هـ إلى ح) وتمتاز الأخيرة بأن صرف مياه المطر فيها يكون داخليا عند الأعمدة . ولما كان حرفها الخارجي يرتفع عن وسطها فإنها أكثر صلاحية لأرصفة محطات سكة الحديد (شكل ١٠ ـ ٣٦) .



الأغطيـــة
مجرة مياه المطر
أ
ب
شداد
حـ
ء
الأغطيـــة
مجرة مياه المطر
ستارة
هـ
و
ز
ح

شكل (١٠- ٣٥)



شكل (١٠ - ٣٦)

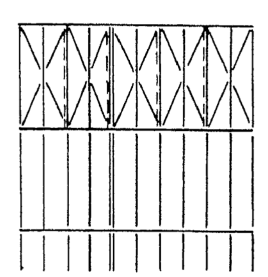
وإذا ارتفع الطرف أكثر من المناسب لأسباب معمارية فعندئذٍ يمكن تزويد ذلك الطرف بستارة من الألواح المعدنية أو من البلاستك تمتد للارتفاع المناسب من سطح الرصيف أو من سطح الأرض لحماية المساحة المغطاة من الشمس أو المطر الذي تدفعه الرياح (شكل ١٠ - ٣٥ هـ) .

تربيط المظلات الكابولية

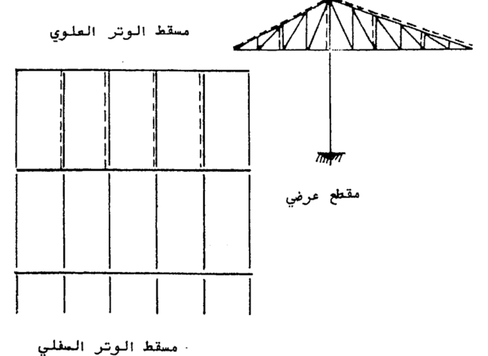
يتعرض الوتر العلوي بكامله لقوى شد بينما يتعرض الوتر السفلي لقوى ضغط ، ولما كان العمود الحامل للكابولي معرضاً لعزم حني فإن أحد جانبي العمود المركب يتعرض لقوى ضغط أيضاً ، ويقتضي هذا سند أعضاء الضغط عمودياً على مستوى الإطار ، أساساً لتقليل طول التحنيب، وأيضاً لمقاومة ما قد تتعرض له المظلة من قوى طولية لعلّ أقلها شأناً هو ضغط الريح وأكثرها أهمية القوى الطولية الناشئة عن حركة مونوريل معلق في الكابول .

كما يلزم للمظلة سند الأعمدة في الاتجاه الطولي مع مراعاة أنه في المظلة ذات الذراعين لا يسمح عادة بعمل أربطة أسفل منسوب الوتر السفلي لاعتراضها المرور من جانب إلى آخر . أما الأعمدة المركبة فإن سندها يكون عادة متيسراً .

ويسند الكابول - أي شفة أو وتر الضغط في الكابول - بإحدى طريقتين :



مسقط الوتر العلوي

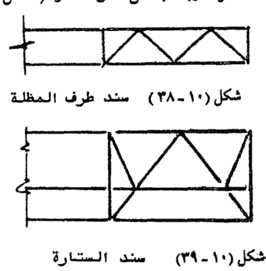


مسقط الوتر السفلي

شكل (١٠ - ٣٧)

أولاً ـ نظام أربطة في مستوى الوتر العلوي :

في هذه الحالة يكون سند الوتر السفلي بواسطة أنظمة أربطة في المستويات الرأسية في المواضع التي يراد سند الوتر فيها . ولا يشترط في هذه الحالة أن تستمر هذه الأربطة في جميع الباكيات بل يكفي أن توضع في الباكيات التي بها الأربطة الأفقية حيث تعتبر أنظمة الأربطة الأفقية مرتكزات للأربطة الرأسية (شكل ١٠ ـ ٣٧) . وفي المظلة التي حرفها خط يكون هذا الحرف مسنوداً بالأربطة الأفقية . أما إذا كان للجمل عمق عند حرفه فإنه يجب تزويده بأربطة رأسية في ذلك المستوى شكل ١٠ ـ ٣٨ . فإذا كان بالحرف ستارة وجب أن تستمر الأربطة بكامل عمق الستارة (شكل ١٠ ـ ٣٩) .

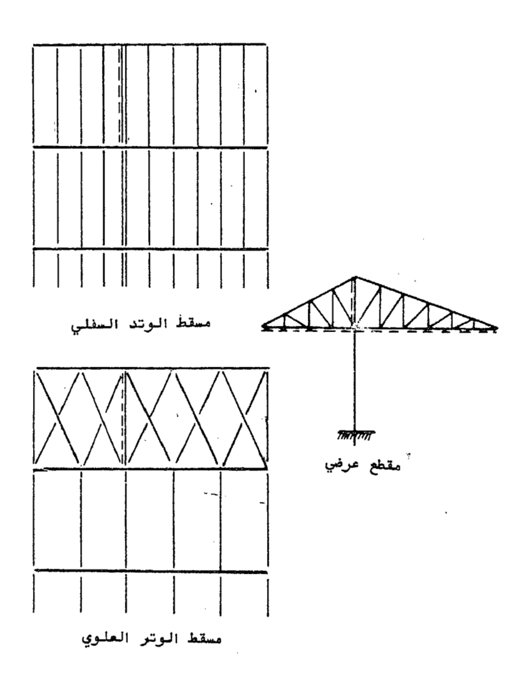


شكل (١٠ ـ ٣٨) سند طرف المظلة

شكل (١٠ ـ ٣٩) سند الستارة

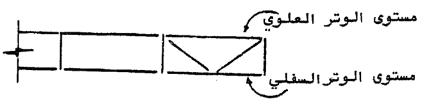
ثانياً ـ نظام أربطة في مستوى الوتر السفلي :

يعتبر سند وتر الضغط في هذه الحالة سنداً مباشراً وتُربّط كالمعتاد باكيةٌ كل عدة باكيات ويكون التربيط على هيئة أقطار فقط دون قوائم ، ولكن القوائم ضرورية فيما بين الباكيات المربطة (شكل ١٠ ـ ٤٠) .

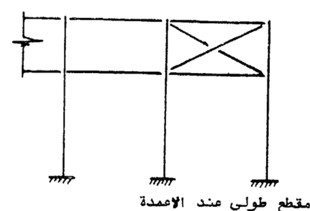


شكل (١٠ - ٤٠)

ولا زال من الضروري وضع نظام أربطة رأسي في مستوى الأعمدة بدءاً من الوتر العلوي . كما يمكن إضافة أربطة رأسية أخرى لسند الوتر العلوي إذا كان من اللازم تقليل نسبة نحافته (شكل ١٠ - ٤١) .



مقطع طولي عند الأربطة الرأسية



مقطع طولي عند الاعمدة

شكل (١٠ - ٤١) الأربطة الطولية

وغالبا ما يمكن سند عمود كبير الارتفاع عن طريق رُكب (شكل ١٠ - ٤٢) .

ركبة
الارتفاع الخالص

شكل (١٠-٤٢) سند الأعمدة في الاتجاه الطولي

إن كلتي طريقتي السند المذكورتين آنفاً تضمن سند وتر الضغط عمودياً على مستوى الجمالون (أو الإطار) الرئيسي . وتجدر ملاحظة النقاط التالية :

١ ـ الأربطة في مستوى الوتر العلوي أقصر من تلك في مستوى الوتر السفلي وبالتالي يكون المقطع المطلوب للأخيرة أكبر كثيراً .

٢ ـ استخدام الأربطة في مستوى الوتر العلوي يستلزم استخدام أربطة رأسية لسند الوتر السفلي حيث يراد .

فيبقى حساب المادة اللازمة لكل من الطريقتين واختيار الأكثر اقتصاداً منهما .

٣ ـ إذا اكتفى بسند الوتر السفلي عند طرفه ونهايته فقط يصبح من الواضح أن اختيار الأربطة في مستوى الوتر العلوي أكثر اقتصاداً .

٤ ـ اختيار النقط التي يسند فيها الوتر السفلي ، أي تحديد أطوال التحنيب لأجزائه يتوقف على عاملين :

أ ـ ألا تتجاوز نسبة النحافة لأي جزء من الوتر بين نقطتي سنده الحد المسموح به أي :

$$\frac{l_{by}}{r_y} \ngtr 180$$

ب ـ أن يحقق اختيار المقطع المناسب للوتر اقتصاداً في وزن المنشأ بكامله أي حساب المادة اللازمة للوتر السفلي والأربطة .

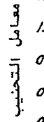
ولبحث موضوع سند الوتر السفلي نبدأ بدراسة طول التحنيب لعضو ضغط مفصلي الارتكاز عند كل من طرفه ونهايته والذي تتزايد القوة فيه على امتداد طوله بدءاً من الصفر عند طرفه حتى تبلغ أقصاها في نهايته ، كما قد يتعرض ذلك العضو لقوة محورية في طرفه .

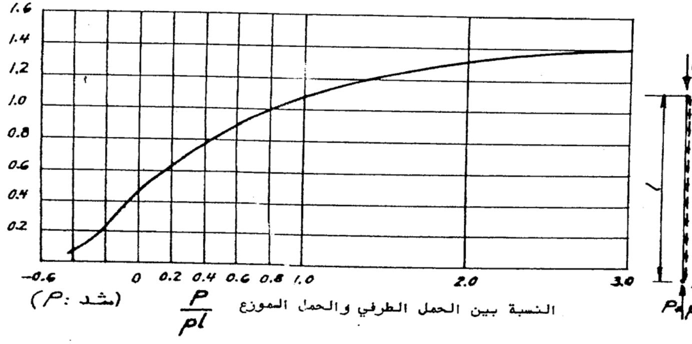
ومن الواضح أن الحمل الحرج لعضو الضغط عندما يتعرض لقوة متزايدة يكون أكبر مما لو كانت القوة الكبرى فيه مستمرة بكامل طوله ، وهنا يمكن حساب طول تحنيب لمثل عضو الضغط هذا ليكافىء الزيادة في الحمل الحرج .

ويبين شكل (١٠ ـ ٤٣) المنحني البياني لمعامل التحنيب لعضو ضغط مفصلي طوله (l) مسنود في طرفه ونهايته ، ومعرض لقوة محورية (P) عند طرفه ولقوة تتزايد من الصفر عند طرفه حتى تصل إلى أقصاها pl عند نهايته وبحيث مقطع العضو مستمر بكامل طوله .

ولتطبيق هذا المنحني على حالة وتر الضغط السفلي في الكابولي ندرس أشكالاً ثلاثة للكابولي مبينة في شكل (١٠ ـ ٤٤) وقد وضح على كل منها توزيع القوى النسبي في أعضاء الوتر السفلي حيث تتزايد القوى في أعضاء كل من الأوتار السفلية من طرفه حتى مرتكزه . ويبين شكل (١٠ ـ ٤٤ د) خطوطاً بيانية لتوزيع تلك القوى ؛ حيث يتضح أن ذلك التوزيع بشكل يقرب من الخط المستقيم للكابولي مثلث الشكل وكذلك للكابولي المتوازي الوترين المحمل عند طرفه فقط ، وبشكل قطع مكافىء للكابولي المتوازي الوترين المحمل حملاً منتظماً . أي أنه يمكن القول بشيء من التجاوز أن القوى في أعضاء وتر الضغط تتزايد بانتظام من الصفر عند طرفه حتى قيمة قصوى عند مرتكزه ، ومن هنا يمكن استخدام المنحني بشكل (١٠ ـ ٤٣) في تعيين معامل التحنيب لوتر الضغط في الكابولي عمودياً على مستوى الجمالون ، ويطبق المعامل المأخوذ من ذلك المنحني على الطول الكلي لذلك الجزء من الوتر بين نقطتي السند ، ويحسب المقطع باعتباره محملاً بالقوة القصوى في نهايته .

ويلاحظ أن تأثر العضو بقوة ضغط محورية عند طرفه يزيد من معامل التحنيب زيادة مطردة مع ازدياد تلك القوة حتى يتجاوز الواحد مما يعني أن الحمل الحرج يتناقص . كما أنه إذا كانت القوة المحورية شداً نقص معامل التحنيب ، أي ازداد الحمل الحرج .

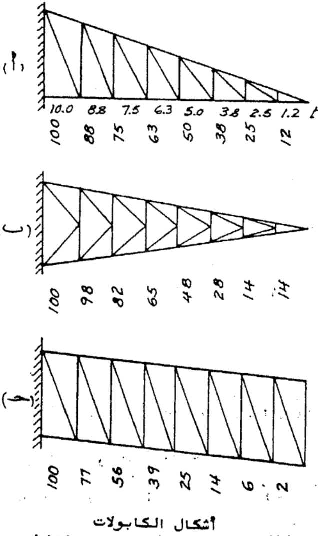

معامل التحنيب


1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
-0.6
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
2.0
3.0
(مشد :P)
P/pl
النسبة بين الحمل الطرفي والحمل الموزع
P
pl
P+pl

شكل (١٠-٤٣)

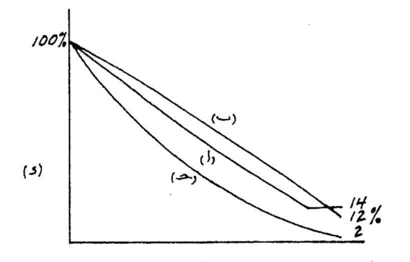
ولنأخذ مثالاً تطبيقياً الكابولي المثلث القائم في شكل (١٠ - ٤٤ أ) الذي طول وتره السفلي $8a$ حيث $a = 200\ cm$ والقوة في نهايته $S_1 = 10.0\ t$ والقوة في العقلة الثالثة $S_3 = 7.5\ t$ وندرس الوتر عندما يسند من طرفه ونهايته ثم عندما يسند إضافيا بعد عقلتين من نهايته :

أولاً - الوتر السفلي مسنود عند طرفه وعند نهايته



أشكال الكابولات
ونسب القوى في أعضاء وتر الضغط

شكل (١٠ - ٤٤) - القوى في وتر الضغط بالكابولات



ا ـ كابول بشكل مثلث متساوي الساقين

ب ـ كابول بشكل مثلث قائم الزاوية

حـ ـ كابول متوازي الوترين

تابع شكل (١٠ـ ٤٤)

بياني توزيع القوى في أعضاء وتر الضغط

معامل التحنيب (من الرسم البياني بشكل ١٠ ـ ٤٣) .

طول التحنيب $l_{by} = 0.46 \times 8 \times 200 = 736\ cm$

القوة التصميمية $S_1 = 10.0\ t$

المقطع المطلوب $2L^s\ 100 \times 10\ (A = 38{,}4\ cm^2)$

ثانياً ـ الوتر السفلي مسنود إضافياً بعد عقلتين من نهايته :

آ ـ الجزء الطرفي المكون من ٦عقل فيه: $\frac{P}{pl} = 0$

معامل التحنيب $K = 0.46$

طول التحنيب $l_{by} = 0.46 \times 6 \times 200 = 552\ cm$

القوة التصميمية $S_3 = 7.5\ t$

المقطع المطلوب $2L^s\ 80 \times 8\ (A = 24.6\ cm^2)$

ب ـ الجزء المكوّن من عقلتين :

هنا سنعتبر القوة بالعقلة الثالثة قوة خارجية بالنسبة لذلك الجزء وبالتالي تعدل القوة في كل من عقلتيه كما يلي :

10.0 10.0 8.8 7.5 t ≡ 10.0 2.5 1.3 7.5 t

شكل (١٠ -٤٥)

حيث أن $\dfrac{P}{pl} = \dfrac{7.5}{2.5} = 3.0$

معامل التحنيب $K = 1.39$

طول التحنيب المكافئ $l_{by} = 1.39 \times 2 \times 200 = 556\ cm$

القوة التصميمية $S = 2.5\ t$

المقطع المقاوم $2L^s\ 65 \times 7$

ولكن $\dfrac{l_{by}}{r_y} = 190 > 180$

المقطع المناسب $2L^s\ 70 \times 7\ (A = 18.8\ cm^2)$

فالجزء الطرفي للكابولي أكثر حرجاً . ولكي يستمر مقطع الوتر :

المقطع المختار $2L^s\ 80 \times 8\ (A = 24.6\ cm^2)$

ثالثاً ـ الوتر السفلي مسنود إضافياً بعد ٣ عقل من نهايته :

آ ـ الجزء الطرفي المكون من ٥ عقل :

المقطع المطلوب $2L^s\ 70 \times 7$

ب ـ الجزء المكوّن من ٣ عقل :

10.0 10.0 8.8 7.5 6.3t ≡ 10.0 3.7 2.5 1.2 6.3t

شكل (١٠ ـ ٤٦)

حيث أن $\frac{P}{pl} = \frac{6,3}{3,7} = 1.7$

معامل التحنيب $K = 1.25$

طول التحنيب المكافيء $l_{by} = 1.25 \times 3 \times 200 = 750\ cm$

القوة التصميمية $S = 3.7\ t$

المقطع المقاوم $2L^s\ 80 \times 8$

ولكن $\frac{l_{by}}{r_y} = 208 > 180$

المقطع المطلوب $2L^s\ 90 \times 9\ (A = 31.0\ cm^2)$

هذا المقطع يستمر بكامل طول الوتر .

وعلى ذلك يكون سند الوتر بعد عقلتين أنسب من سنده بعد ٣عقل. ولكن بمقارنة هذا بالوتر غير المسنود تكون الدراسة الاقتصادية هي المقارنة بين المادة التي يتطلبها نظام الأربطة الرأسية بعد عقلتين والوتر السفلي المكوّن من $2L^s\ 80 \times 8$ ، وبين ما يتطلبه الوتر المسنود في طرفه ونهايته والمكوّن

من $2L^s\ 100 \times 10$.

وتجدر ملاحظة أن طرف الوتر يكون مسنوداً بأربطة الريح العلوية إذا لم يكن لذلك الطرف عمق (شكل ١٠ ـ ٤٤ أ و ب) فإذا كان له عمق كما في شكل (١٠ ـ ٤٤ حـ) ، وجب تزويد ذلك الطرف بأربطة رأسية .

ومن المفيد الإشارة هنا إلى المعادلة التي أوردناها مسبقاً والتـي تعطـي طول التحنيب لعضو ضغـط مكون من طولـين متسـاويين كل منهما l حيث تختلف القوة فيهما $S_2 > S_1$ وتعوض كل قيمة باشارتها :

$$l_{by} = 2l\,(0.75 + 0.25\,\frac{S_1}{S_2}) \nless l$$

وبمقارنة نتيجة استخدام هذه المعادلـة بمـا نحصـل عليه من المخطـط البياني نجد أن طول التحنيب المحسوب منها أصغر ، بينما القوة المؤثرة أكبر . ورغم أنها لا تُدخل في الاعتبار القوة التي تؤثر على العضو من خارجه ، فإن المقطع المحسوب عن طريقها أكبر من المقطع المحسوب عن طريق المخطـط البياني ، كما يتضح من المثال التالي :

10.0 2.5 1.3 7.5t . 10.0 8.8t

شكل (١٠ ـ ٤٧)

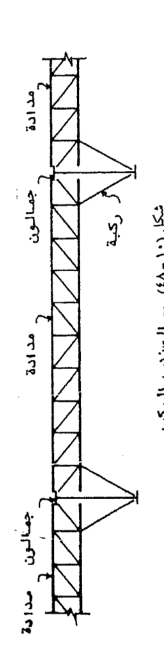
$l_{by} = 556\ cm$	$l_{by} = 388\ cm$
$S = 2.5t\ ,\ P = 7.5t$	$S = 10.0\ t$
$2L^s\ 70 \times 7$	$2L^s\ 80 \times 8$

السند بالركب *(Knee Braces)* :

عندما يزداد التباعد بين الجمالونات (لأكثر من ٦ أمتار مثلا) فإنه يصبح من المناسب أن تعمل المدادات من نظام شبكي مكون من مقطع مبني ذي عمق كبير مقارناً بعمق الجمالون . وفي هذه الحالة يمكن تزويد مثل هذه المدادة بركبة عند كل من نهايتيها شكل (١٠ ـ ٤٨) ، وتعمل هذه الركبة على سند الوتر السفلي في الكابولي .

كما يمكن استخدام مثل هذه المدادة لسند الوتر السفلي للإطار المستمر الذي يتعرض جزء من وتره السفلي لقوة ضغط ، ولزيادة جساءته .

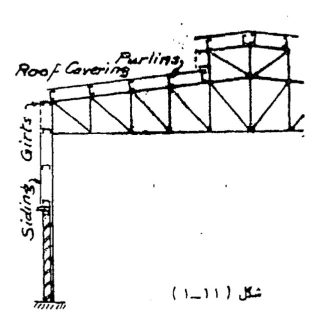
ولا ننسى أن مثل هذه الركب تساهم في تقليل المقطع اللازم للمدادة .



شكل (١٠ ـ ٤٨) ـ السند بالركب

الفصل الحادى عشر

المدادات



شكل (١١ـ١)

المدادات: حيثما تقع ، هي تلك الكمرات الممتدة بطول المبنى والتى تحمل الغلاف الخارجي للمنشأ ، وهي صنفان :

١ــ مدادات السطح (Roof Purlins) : وهي التي ترتكز على الجمالونات أو الإطارات لتحمل أغطية السطح (Roof covering) .

٢ــ مدادات الجوانب (Girts) :

وقد تُحمّل هذه على الأعمدة الفولاذية الحاملة للجمالونات أو على جوانب المناور حيث تركب عليها النوافذ الزجاجية (Sash) أو ألواح التغطية الجانبية من الأسبستس المموّج أو الصاج المجلفن (Siding or Cladding) • كما قد تحمل حوائط من

الطوب وخاصة فى شبابيك المبنى .

الأحمال على المدادات : تنقل المدادات إلى الكمرات الرئيسية الأحمال الآتية :

أولا ــ أحمال على السطح :

١ــ حمل أغطية السطح .

٢ــ مايفرض على السطح من أحمال حية إما فعلية تقتضيها طبيعة المنشأ ، وإما متوقعة مثل وزن الجليد الذى يتساقط على السطح فى المناطق الباردة ، وهذا تحدده كل منطقة حسب طبيعتها، وإما احتياطية أو طارئة (Emergency load) وهذه أيضا تحددها المواصفات ، وتتوقف على درجة ميل السطح وعلى إمكان الوصول إليه كما فى شكل (٣ــ٢٠) . ولا يُجمع وزن الجليد والحمل الطارئ ، وكلاهما يعتبر حملا موزعا على السطح .

٣ــ ضغط الريح (الذى قد يكون ماصا) ويؤثر عموديا على السطح ، ويتوقف على درجة ميل السطح واتجاهه بالنسبة للريح . هذا وقد يكون ضغط الريح هو القوة الرئيسية للمدادات على الجوانب .

٤ــ مايركب على السطح من أجهزة ميكانيكية أو كهربية مثل شفاطات الهواء (Blowers) لتجديد الجو الداخلى للمبنى، والمداخن الفولاذية وبعض أنواع أجهزة تكييف الهواء .

ثانيا ــ أدوات معلقة من المدادات :

٥ــ مواسير المياه أو البخار أو الغاز المستخدمة فى الانتاج ، وكذلك الأنابيب والمجارى الحاملة للمواد اللازمة للتصنيع أو التى تمر بها المنتجات المصنعة ، ومجارى تكييف الهواء .

٦ــ السقف المستعار (False ceiling) لتغطية أى عناصر

غير مرغوب فى ظهورها ويتكون من ألواح، غالبا ماتكون صوتيـة،مع مايتخللها من وحدات إضاءة ومخارج الهواء المكيف ، وتحمّل كل هذه على مقاطع فولاذية خاصة تعلق من المدادات .

وكل هذه المعدات والأدوات تعطى أوزانها بالرســـومات أو المواصفات الميكانيكيـة والكهربيـة .

انتقال الأحمال :

تنتقل أحمال السطح ، بما فيها الأغطية ، بإحــدى الطـــرق الآتيــة (شكل ١١ـ٢) :

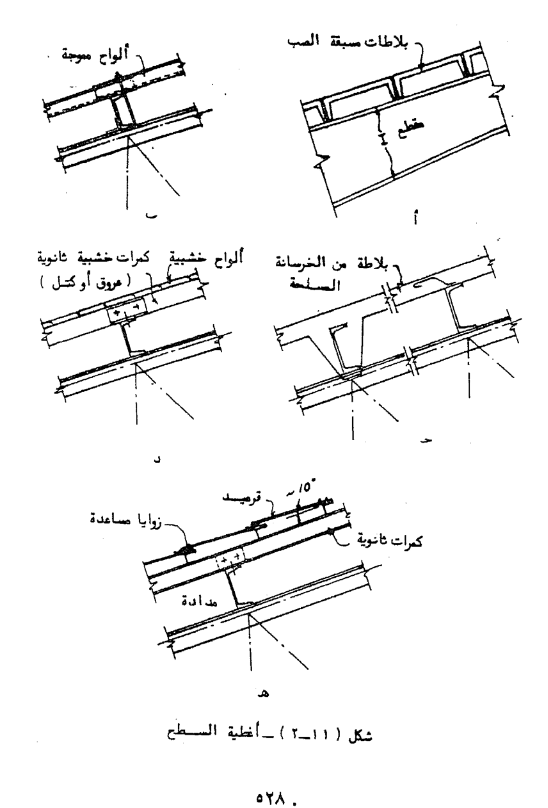
١ـ مباشرة إلى الكمرة الرئيسية ، ولايكون هذا مقبولا إلا إذا كان مقطع الكمرة على شكل I ، لأن التحميل المباشر علـى جمالـون يتسبب فى حدوث عزوم حني ثانوية فيما بين النقط ، مما يؤثـــر كثيرا فى اختيار مقطع الوتر العلوى . وغالبا ماتستعمـل لتغطيـة الكمرة البلاطات الخرسانية مسبقة الصب (أ) .

٢ـ عن طريق المدادات التى تحمل أو ترتكز عند العقد فى الجمالونات وتنتقل الأحمال إلى المدادات :

أـ مباشرة وذلك عندما تكون الأغطية من الألواح الفـولاذية أو ألواح الإترنيت أو من البلاطات الخرسانية (ب ، جـ) .

بـ عن طريق مدادات ثانوية تسمى (Rafters) توضع عادة فوق المدادات موازية للجمالونات ، عند التغطية بألواح خشبية (د) .

جـ فإذا كانت الأغطية من ألواح أو بلاطات محــدودة الطـــول والعرض كالقرميد والأردواز أضيفت كمرات مساعدة فــوق الكمـرات الثانوية وغالبا ماتكون زوايا صغيرة تسمى Batten Angles كما فى شكل (١١ـ٢هـ) .



شكل (١١ـ٢) ـ أغطية السطح

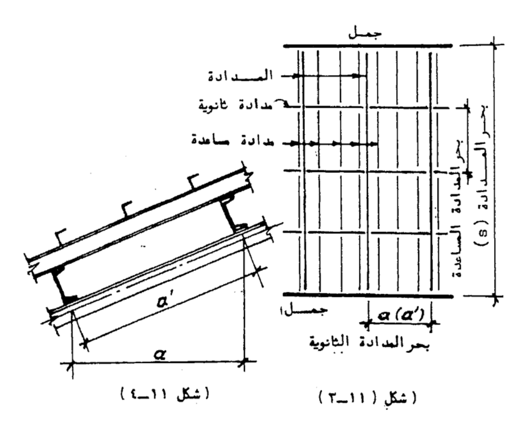
حساب المدادة :

أ ــ بحر المدادة (شكل ١١ــ٣)

١ــ المدادة الرئيسية : هو المسافة بين محوري الجملين أو الإطارين الحاملين بصرف النظر عن عرض أعضاء الوتر العلوي للجمل أو الشفة العلوية للإطار . وسواء أكانت المدادة مرتكزة على الجمل (شكل ١١ــ٢) أم موصولة به (شكل ١١ــ٣)؛أى أن بحر المدادة هو تقسيط الجمالونات (s) .

٢ــ المدادة الثانوية : هو المسافة بين مدادتين رئيسيتين . ويلاحظ أن المحور الطولى للمدادة الثانوية يميل على الأفقى بنفس ميل الوتر العلوى للجمالون ، شكل (١١ــ٤) .

٣ــ المدادة الساعدة : وتمتد فوق المدادات الثانوية موازية للمدادات الرئيسية وبحرها هو المسافة بين المدادات الثانوية .



(شكل ١١ــ٤)   (شكل (١١ــ٣)

ب ـ الأحمال :

أولا ـ الحمل الميت ، ويشمل :

١ـ الوزن الذاتي للمدادة ويمكن تقديره بافتراض عمق للمدادة يتراوح بين $\frac{1}{30}$ و $\frac{1}{40}$ من بحرها ، ويقدر بالكيلوجرام على المتر الطولي .

٢ـ أغطية السطح والسقف المستعار المعلق من المدادات ، ويؤخذ في الاعتبار ميل السطح وميل السقف عند حساب الأوزان ، وقد سبق بيان قيمة أوزان تلك الأغطية . كما تحسب أوزان أغطية الجوانب بالنسبة للمدادات الجانبية الحاملة لها سواء أكانت من الزجاج أو الإترنيت أو ألواح الفولاذ .

ثانيا ـ الأحمال الحية ، وتشمل :

١ـ الحمل الحي الموزع بالتساوي على السطح سواء أكان فعليا كوزن الجليد أو مفروضا كما تقرره المواصفات والذي يؤخذ موزعا بالنسبة للمسقط الأفقي للسطح .

٢ـ أوزان الأجهزة والأدوات والآلات التي قد تعلق من المدادات أو تحمل عليها .

٣ـ حمل مركز وحيد قدره ١٠٠ كج والذي يمثل عاملا مع أدواته ، حيث تنص المواصفات على وجوب مراجعة مقطع المدادة ليقاوم لذلك الحمل ، ولا يضاف إلى الحمل الحي المفروض ويكون هذا الحمل حرجا عندما يكون الحمل الحي المفروض صغيرا .

ثالثا ـ ضغط الريح :

ولا يكون هذا مؤثرا في اختيار مقطع المدادة إلا إذا كان السطح كبير الميل ، أو كان السطح رأسيا وخاصة الجوانب المواجهة للريح . فإنه بمراجعة المعادلة التي تعطي معامل ضغط الريح عموديا على السطح المواجه :

$$c = 1.2 \sin\alpha - 0.4$$

يتضح أنــه ·

- إذا كان ميل السطح أقل من $\frac{1}{2,7}$ (α نحو ١٩,٥°) كان الريـــح ماصا ·
- إذا زاد ميل السطح على $\frac{1}{2,7}$ كان الريح ضاغطا ، ويزداد الضغط بزيادة الميل حتى يبلغ أقصاه على السطح الرأسى، الذى معاملــه $c = 0.8$.
- أما الأسطح المقابلة أيّا كان ميلها وكذلك الأسطح المتعامدة على اتجاه الريح فإن الريح عليها ماص ، ومعامله $c = -0.4$ · يراجـــع شكل (٣ـ٣١) · ويعتبر ضغط الريح هنا من المؤثرات الثانويـــة التي تستدعى زيادة الجهد المسموح به بمقدار ١٥٪ · كما يلاحظ أن ضغط الريح بالنسبة للمدادات الجانبية وخاصـــة المواجهـــة للـريح أكبر تأثيرا من الأحمال الميتة ، عندما تكون الجوانب مغطاة بالألواح ، خاصة المعدنية ، مما يؤثر فى اختيار مقطع المـــدادة وفى طريقة وضعه ·

حساب التأثيرات :

١ـ المدادة على سطح منحدر (شكل ١١ـ٥ أ) :

أ ـ أحمال الجاذبية أى الأحمال الرأسية ، وهى ليست فى اتجاه أيّ من محوري المقطع الرئيسيين وبذلك تحلل تلك الأحمـــال ، الموزعة منها والمركزة ، فى اتجاهي هذين المحورين · فإذا كـــان الحمل المركز P kg وكان الحمل الموزع p kg/m' وكان ميـــل السطح $\alpha°$ فإن :

مركبّــة الأحمال عموديا على المحور الأكبر x-x للمقطع ، والتـــي تُحدث عزم حني حوله :

$$P_x = P \cos\alpha \quad , \quad p_x = p \cos\alpha$$

والمركبة عموديا على المحور الأصغر y-y ، والتي تُحـــدث عـــزم

حني حوله :

$$P_y = P \sin\alpha \quad , \quad p_y = p \sin\alpha$$

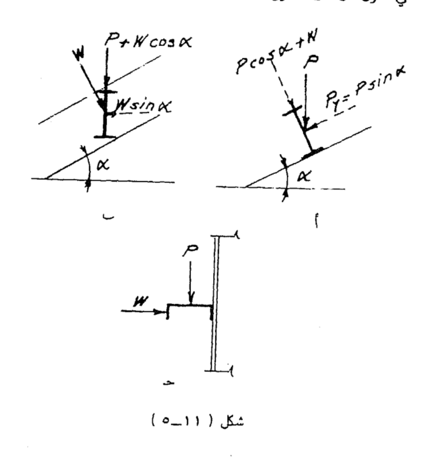
وتبين الأمثلة من ١ إلى ٥ مدى تأثر المقطع اللازم للمدادة بميـــل السطح الذي ترتكز عليه •

ب ـ ضغط الريح ويحسب عموديا على السطح فهو بذلك يُحدث عزم حني حول المحور الأكبر فقط ، وغالبا مايكون غير ذي تأثير ، إلا في مدادة الحرف •

٢ ـ مدادة السطح التي في وضع رأسي (شكل ١١ ـ ٥ ب) :

أ ـ أحمال الجاذبية وتحدث عزم حني حول المحور الأكبر للمقطع •

ب ـ ضغط الريح عموديا على السطح المائل فهو بذلك يحدث عزم حني حول كلٌ من محورى المقطع •



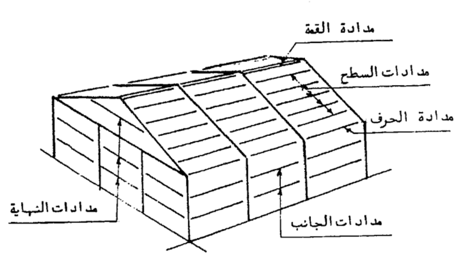
شكل (١١ ـ ٥)

٣ـ مدادة الجانب ومدادة النهاية :

أ ـ أحمال الجاذبية وتحدث عزم حني حول المحور الأفقي للمقطع •

ب ـ ضغط الريح وهو هنا أفقي ويحدث عزم حني حول المحور الرأسي وكثيرا مايكون العامل المؤثر فى اختيار المقطع •

وبذلك تتعرض المدادة أينما كان موقعها لعزم حني مزدوج •



شكل (١١ـ٦)

المقاطع المستخدمة للمدادات :

يتوقف اختيار مقطع المدادة على العوامل الآتية :

١ـ موقع المدادة من المنشأ : على السطح أو الجانب أو النهاية •

٢ـ طبيعة الأحمال والقوى التي تتعرض لها المدادة •

٣ـ تقسيط الجمالونات ، أى بحر المدادة ، ويدخل فى الاعتبار هنا استخدام جمال ثانوية •

٤ـ النظام الاستاتيكي للمدادة •

٥ـ الناحية الاقتصادية ولها جانبان : وزن المادة المطلوبة للمدادة وكمية العمل المطلوبة لتشغيلها وتركيبها أو المقاطع المدلفنة (الجاهزة)/ المقاطع المبنية •

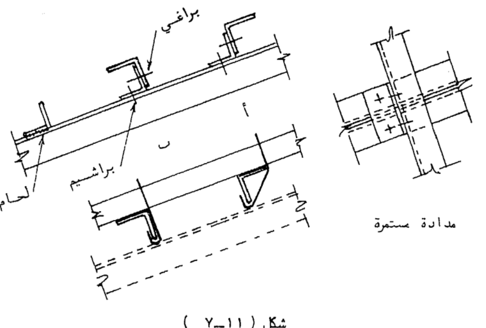
٦ـ طريقة ربط المدادة بالجمل ٠

٧ـ المدادة الساندة لشفة الضغط في الكمرة الرئيسية ٠

أولا ـ مدادة السطح :

١ـ المقاطع المدلفنة :

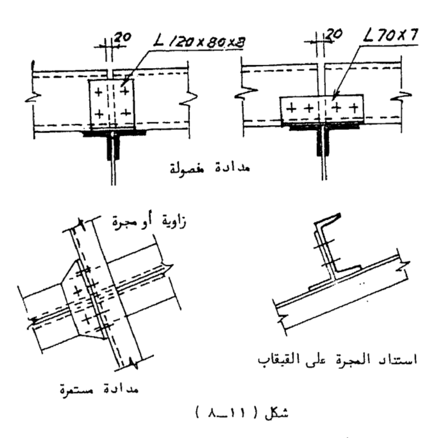
أ ـ الزاوية المنفردة (شكل ١١ـ٧) ، وغالبا ماتكون زاوية متساوية وخاصة للمدادة على السطح المنحدر ٠ ولاتكون الزاوية اقتصادية إلا للبحور الصغيرة (نحو ٠٠ر٣ أمتار) ٠



شكل (١١ـ٧)

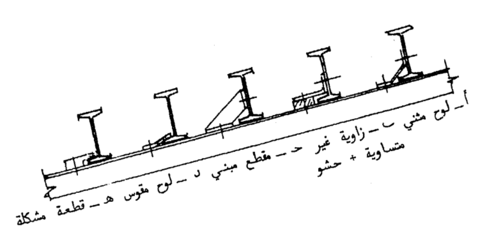
والزاوية فى الوضع (أ) أقدر على مقاومة الأحمال منها فى الوضع (ب) وقد تكون أكثر اقتصادا ، إلا أن المسمار السنارة اللازم لربط الألواح بها أكثر تعقيدا ٠

ب ـ المجرة ، وهذا المقطع أكثر شيوعا وذلك لسهولة تركيبها وربطها على سطح الجمالون ، (شكل ١١ـ٨) ٠



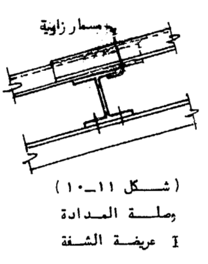
شكل (١١ـ٨)

حـ ـ المقطع I العادي ، وربطُها بسطح الجمل أكثر صعوبة بسبب ضيق شفته ، (شكل ١١ـ٩) ٠



شكل (١١ـ٩) ـ وصلة المدادة ذات المقطع I

د ـ المقطع I عريض الشفة،
يندر استعمال هذا المقطع للمدادات رغم أنه يكون اقتصاديا على السطح المنحدر كما قد يكون تركيبه أوفر لعدم الحاجة إلى القبقاب، ولاتساع شفته لمسمار الرباط، إلا أنه قد لا يحقق شرط العمق.



(شكل ١١ـ١٠)
وصلة المدادة
I عريضة الشفة

٢ـ المقاطع المبنية (Built Sections):

يغلب استعمال المقطع المبنى للفتحات الكبيرة وخاصة حين تكون المدادة في وضع رأسي (شكل ١١ـ١١) وتتمتع المقاطع المبنية بالميزات التالية :

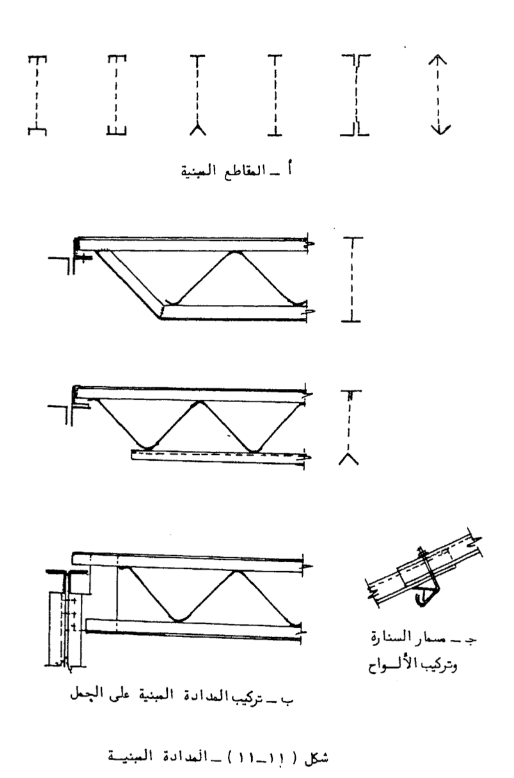
ـ الوفر فى المادة المستعملة وخاصة مع استعمال اللحام.
ـ اختيار العمق الذى يتناسب مع بحر المدادة، وخاصة إذا كانت الأحمال ضئيلة.

ويُعمل وتر المدادة من زاوية منفردة أو زاويتين متظاهرتين أو مقطع T أو مقطع مجرة نائمة (شكل ١١ـ١١أ). ويعمل القطر إما من زاوية منفردة وإما من سيخ مبروم مستمر الانثناءات (شكل ١١ـ١١ب)

٣ـ المقاطع المشكلة على البارد (Cold-formed Sections):

لعل أكثر المقاطع المشكلة على البارد استعمالا هو المقطع Z الذى يَفضُل المجرة فى مقاومته للالتواء حيث أن مركز القص فيه يقع في منتصف الجذع.

الوتر العلوي
أو الشفة العليا لإطار



شكل (١١ـ١١) ـ المدادة المبنيـة

ثانيا ــ مدادة القمــة :

تأخذ هذه المدادة أحد شكلين :

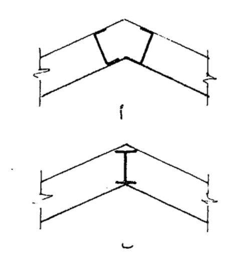
أ ــ مجرة مزدوجة ، واحدة على كل جانب من رأس الجمالون ٠ كمـــا يمكن أن تكون زوجا من أحد من المقاطع السابقة المدلفنـــــة ، (شكل ١١ــ١٢ أ) ٠

ب ــ مقطع I ، على الأخص عريض الشفة ، الذى لايحتاج إلى ســـند جانبي ٠ كما يمكن أن يكون مقطع I مبنيا ، (شكل ١١ــ١٢ب)٠

ثالثا ــ المدادة فى المستوى الرأسي :

يتوقف شكل المدادة علــى نــوع التغطيــة :

١ــ التغطية بالطوب أو البلوكات حيث الحمل الرأس هو الأساســي بالنسبة لضغط الريح ، يستعمل المقطع I ، إما عريض الشفة وإما I عادى مزود بلوح علوي ليناسب عرض الحائـط ٠



شكل (١١ــ١٢)
مــدادة القمـــة

٢ــ التغطية بالألواح ، حيـــث ضغط الريح أساسي بالنســـبة للحمل الرأسي فيستعمل :

أــ المقطع المجرة الذى محــوره الأكبر رأسى ٠ ولما كـــان عــــرض الشفة لايحقق شرط العمق كـــان من اللازم تعليق المدادة مــــن منتصفها أو من نقطتى الثلـــث ، ولهذا الغرض يستعمل :

شكل (١١ــ١٣)
مــدادة الحائــط

ب ـ مقطع مجرة مركب لتعلق به المدادة النائمة ـ واحدة أو أكثر ـ حيث أن هذا المقطع قادر على مقاومة قوى في اتجاهين (شكل ١١ ـ ١٤). ويستعمل هذا المقطع لمدادة الحرف في المستوى الرأسي ، (شكل ١١ ـ ١٥) ، كما يستعمل للمدادة التي تتعرض لقوى أفقية ذات شأن إضافةً إلى الأحمال الرأسية .

شكل (١١ ـ ١٤)
المدادات في المستوى الرأسي

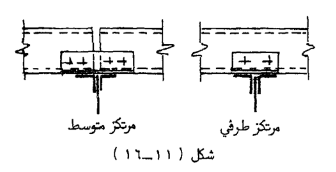
النظام الاستاتيكي للمدادة

١ ـ المدادة على ركيزتين : أكثرها استخداما ، فهي من الوجهة العملية قد تكون أسهل في النقل وفي المناولة أثناء الرفع والتركيب ، ومن الوجهة الاقتصادية قد يكون سعر الكمرات القصيرة أقل من سعر الطويلة .

شكل (١١ ـ ١٥)
مدادة الحرف

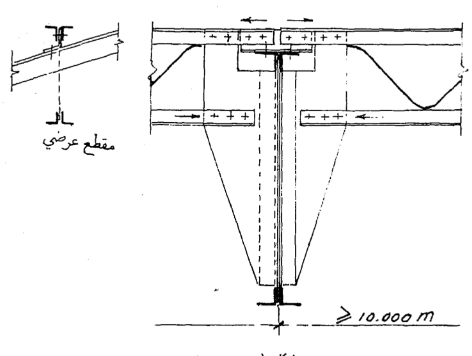
٢ ـ المدادة المستمرة : المدادة المستمرة اقتصادية مالم تكن على فتحتين :

أ ـ لأن المقاطع الجاهزة لجعل الكمرة مستمرة أمر مكلف مادةً وتشغيلا إذ المفروض أن يتم ذلك في مستوى سطح الجمالونات ، ولا يسمح الطول الذى تورد به المقاطع المدلفنة باستمرارها لأكثر من فتحتين ، وقد تستثنى من ذلك الزاوية المنفردة لقصر البحر الذى تركب عليه . وربط المدادة المستمرة عند مرتكزاتها المتوسطة أوفر (شكل ١١ ـ ١٦)



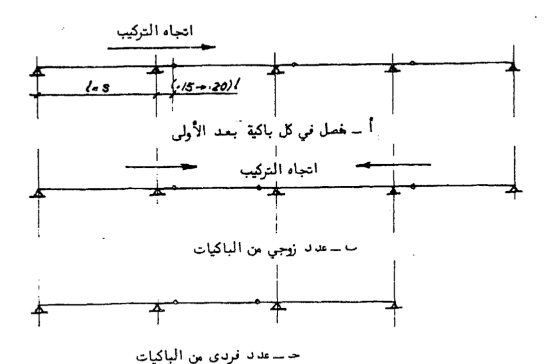
شكل (١١ــ١٦)

ب ــ أما المقاطع المبنية فيمكن جعلها مستمرة عن طريق وسائل اتصالها بالجمالون • فيستخدم للوتر العلوى بدلا من القبقاب لوح مثني على شكل زاوية يمتد ليستوعب العدد المطلوب من مسامير اللأمة (مسامير قلاووظ) أما الوتر السفلى للمدادة فتوضع مساميره في لوح التجميع الذى تركب به المدادة في الجمالون (شكل ١١ــ١٧) •



شكل (١١ــ١٧)
استمرارية المدادة

٣ــ المدادة بهيئة كمرة مفصلية ، شكل (١١ــ١٨)



شكل (١١ــ١٨) ــ المدادة المفصلية

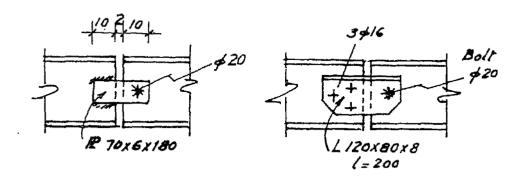
لهذا النظام ميزة الوفر التي للكمرات المستمرة ، إلا أنها تفضلها فيما يلـي :

أ ــ يمكن أن تكون أطوالها مستمرة فى الباكيات المتوسطة (عدا الاولى).

ب ــ تتفادى الجهود الإضافية التي تحدث نتيجة هبوط مرتكزاتها على الجمالونات .

حـ ــ وصلات المفاصل أبسط كثيرا من لأمات الكمرات المستمرة .

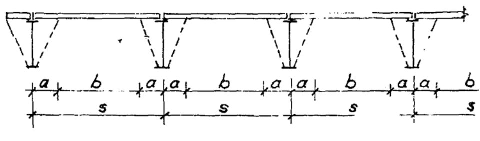
إلا أنه لا زال استعمال هذا النظام يقتضي مادة للمفاصل وزيادة فى التشغيل . والترتيب المفضل هو الموضح بشكل (١١ــ١٨ أ) لتساوى الأطوال وتشابه الوصلات ، ومناسبته لاتجاه التركيب . ويوضح شكل (١١ــ١٩) طريقة عمل المفصل فى المدادة .



شكل (١١ـ١٩)

والطول النظري لبعد الفصل عن المرتكز للأحمال المنتظمة الميتة هو $0.145\,l$ ، حيث يتقارب العزمان الموجب والسالب في الفتحات المتوسطة . الا أنه بسبب اختلاف حالات التحميل يؤخذ هذا البعد بين $0.15\,l$ و $0.21\,l$ وعندئذ يصبح عزم الحني الموجب $0.042wl^2$ وعزم الحني السالب $0.083wl^2$. هذا ويمكن للحفاظ على مقاس المدادة تصغير الباكية الأولى لإنقاص عزم الحني الموجب بها .

٤ـ المدادة ذات الركبتين : تزوّد الركبةُ المدادةَ بركيزة متوسطة



* يراعى سند الوتر السفلي للجمل الطرفي من الخارج لمقاومة ضغط الركبة من الفتحة الأولى .

شكل (١١ـ٢٠)

مرنة وبذلك تصبح المداة فيما بين جعلين مستمرة على أربع ركائز، الوسطيتان منها مرنتان، ويقلل ذلك من عزم الحني على المداة بدرجة واضحة • ويبين الجدول (١١ـ١) معاملات عزوم الحني لمدادات مزودة كل منها بركبتين لأبعاد مختلفة للركبتين : $M=+C_1 pl^2$.

جدول (١١ـ١) ــ معاملات عزوم الحني للمداة ذات الركبتين

معامل عزم الحني C_1 (قيمة مطلقة)			$\frac{l}{a}$	$\frac{b}{a}$
الفتحة الثالثة	الفتحة الثانية	الفتحة الأولى		
.0447	.0711	.0679	8	6
.0347	.0629	.0642	6	4
.0203	.0511	.0569	4	2

يبين الجدول (١١ـ٢) معاملات قوة الضغط في الركب $C_2\frac{pl^2}{e}$

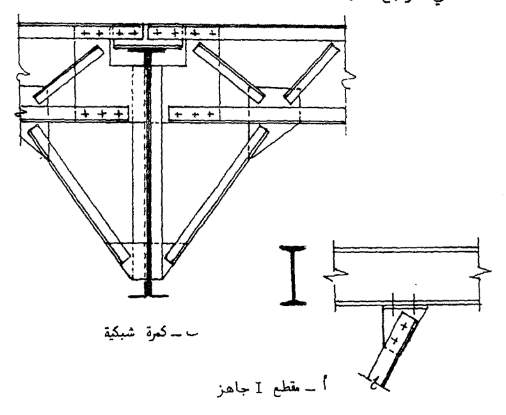
ومعاملات رد الفعل عند مرتكز المداة على الجمل : $C_3\frac{pl^2}{a}$

جدول (١١ـ٢)

معامل رد الفعل على الجمل C_3		معامل الضغط في الركبة C_2		$\frac{l}{a}$	$\frac{b}{a}$
الفتحة الثانية	الفتحة الأولى	الفتحة الثانية	الفتحة الأولى		
-.075	-.116	.085	.132	8	6
-.044	-.084	.086	.142	5	4
+.017	-.018	.086	.165	4	2

ملحوظة : اشارة (ـ) معناها قوة نازعة •

والمعتاد أن تكون المدادة ذات الركبة من النظام الشبكي كما يجب أن تكون المدادة رأسية وتكون الركبة عضوا فيها ، شكل (١١ـ٢١) وهنا تكون الركبة ساندة للوتر السفلي للجمالون أو الإطار ، وهـذا أساسي خاصة حين يكون الوتر السفلى معرضا لضغط • وقد يمتد لوح التجميع الذى يربط المدادة بالجمل ليصبح جناحا سانـدا للـوتـر السفلي (راجع شكل ١١ـ١٠٧) •



شكل (١١ـ٢١) ــ المـدادة ذات الركبـة

وهذه أمثلة لدراسة اختيار مقطع المدادة :-

مثال (١١ـ١) ــ المطلوب اختيار مقطع لمدادة متوسطة ترتكز على سطح يميل على الأفقي 5 : 1 .

المعطيات : تقسيط الجمالونات $s = 6.00$ m

مسافة العقلة $a = 1.65$ m

وزن الأغطية $15\ kg/m^2$

الحمل الحي المفروض $80\ kg/m^2$

$\tan\alpha = 0.2,\ \sin\alpha = .196,\ \cos\alpha = .98$

الأحمال: الأغطية $\frac{15\times1.65}{.98} = 25\ kg/m'$

الوزن الذاتي $20\ kg/m'$

الحمل الحي $80\times1.65 = 132\ kg/m'$

الحمل الكلي $177\ kg/m'$

الحمل فى اتجاه الجذع $p_x = 177\times.98 = 173\ kg/m'$

الحمل عموديا علي الجذع $p_y = 177\times.196 = 35\ kg/m'$

$$M_x = \frac{173\times6.0^2}{8} = 781\ kgm$$

$$M_y = \frac{35\times6.0^2}{8} = 156\ kgm$$

$$Z_x req \simeq \frac{(781+7\times156)100}{1400} = 134\ cm^3$$

Try [180; $Z_x = 150\ cm^3,\ Z_y = 22.4\ cm^3$

$$f_{act} = \frac{78100}{150} + \frac{15600}{22.4} = 521 + 696 = 1217\ kg/cm^2 < 1400\ kg/cm^2 \quad O.K.$$

Try S.I.B. 180: $Z_x = 161\ cm^3,\ Z_y = 19.8 cm^3$

$$f_{act} = \frac{78100}{161} + \frac{15600}{19.8} = 485 + 788 = 1273\ kg/cm^2$$

مثال (١١ـ٢) ــ فى المثال (١١ـ١) ماذا يكون مقطع المدادة عندما يكون ميل السطح 1:3 ($\alpha = 18.4°$) ؟

$\tan\alpha = .333,\ \sin\alpha = .316,\ \cos\alpha = .949$

الأحمال : الأغطية $\frac{15 \times 1.65}{.949} = 26$ kg/m'

الوزن الذاتي 25 kg/m'

الحمل الحي 132 kg/m'

الحمل الكلي 183 kg/m'

$p_x = 183 \times .949 = 174$ kg/m'

$p_y = 183 \times .316 = 58$ kg/m'

$M_x = 782$ kgm

$M_y = 260$ kgm

$$Z_x req = \frac{(782+7\times260)100}{1400} = 186 \text{ cm}^3$$

Try [200 : Z_x = ;191 cm^3, $Z_y = 27$ cm^3

$$f_{act} = \frac{78200}{191} + \frac{26000}{27} = 409 + 963$$
$$= 1372 \text{ kg/m}^2$$

T_{ry} S.I.B. 200, $Z_x = 214$ cm^3, $Z_y = 26$ cm^3

$$f_{act} = \frac{78200}{214} + \frac{26000}{26} = 365 + 1000$$
$$= 1365 \text{ kg/cm}^2$$

مثال (١١ــ٣) ــفى المثال (١١ــ١) ماذا يكون مقطــع المدادة عند ما يكون ميل السطح 1:2 ($\alpha = 26.56^\circ$) ؟

$\tan\alpha = .0500$, $\sin\alpha = .447$, $\cos\alpha = .894$

الأحمال : الأغطية $\frac{15 \times 1.65}{.894} = 28$ kg/m'

الحمل الذاتي 30 kg/m'

الحمل الحي 132 kg/m'

الحمل الكلي 190 kg/m'

$p_x = 190 \times .894 = 170$ kg/m'
$p_y = 190 \times .447 = 85$ kg/m'
$M_x = 764$ kgm
$M_y = 382$ kgm

$$Z_x req = \frac{(746+7\times382)}{1400} = 246 \text{ cm}^3$$

Try [220 : $Z_x = 245 \text{ cm}^3$, $Z_y = 33.6 \text{ cm}^3$

$$f_{act} = \frac{76400}{245} + \frac{38200}{33.6} = 312 + 1137$$
$$= 1449 \text{ kg/cm}^2$$

Try S.I.B. 220: $Z_x = 278 \text{ cm}^3$, $Z_y = 33.6 \text{ cm}^3$

$$F_{act} = \frac{76400}{278} + \frac{38200}{33.1} = 275 + 1154$$
$$= 1429 \text{ kg/cm}^2$$

(كلا الجهدين الفعليين أعلا من المسموح به : ٥ر٣٪ و ٢٪) .

مثال (١١ــ٤) : فى المثال (١١ــ٣) ماقاس المقطع I عريض الشفة اللازم للمدادة ؟

$$Z_x req = \frac{(764+3\times382)100}{1400} = 136 \text{ cm}^3$$

Try B.F.I 120: $Z_x = 144 \text{ cm}^3$, $Z_y = 52.9 \text{ cm}^3$

$$f_{act} = \frac{76400}{144} + \frac{38200}{52.9} = 531 + 722$$
$$= 1258 \text{ kg/cm}^2$$

ملحوظة : لايعتبر عمق هذا المقطع غير ملائم لأنه أقل من $\frac{1}{40}$ إذ أن العمق الحقيقي هو الموضح بشكل (١١ــ٢٢) والذى يبلغ 16 cm.

يلخص الجدول (١١ــ٣) الأمثلة من ١ الى ٤ حيث يتبين منه :

١ــ يزداد المقطع المطلوب كلما ازداد ميل السطح .

٢ــ المقطع I العادى والمقطع المجرة المرتكزان على نفس الميل

يتقاربان فى الوزن ٠

٣ـ مع الاحتفاظ بميل السطح فـــإن المقطع I عريض الشفة أكثر المقاطع اقتصادا ، لكن يحد من اختياره أن احتمال عدم تواجده فـــي الـ ـسوق كبير ٠

شكل (١١ـ٢٢)

٤ـ بصرف النظر عن أن المقطع I العادي أصعب فى التركيـب مـن المقطع المجرة فإنه يلاحظ :

أ ـ بالنسبة للمحور الرئيسي الأكبر : المقطع I العادي أقوى من المقطع المجرة ٠

ب ـ بالنسبة للمحور الرئيسي الأصغر : المقطع المجرة أقـوى من المقطع I العادي ٠

جـ ـ شفة الضغط فى كلا المقطعين غير قادرة على مقاومة التحنيب الجانبي ٠

جدول (١١ـ٣) ـ تأثير ميل السطح على المقطع اللازم للمدادة

الوزن Kg/m'		الجهود الكلية		الجهود (kg/cm²) الناشئة عن				المقطع المطلوب		ميل السطح
				My		Mx				
I	[	I	[	I	[	I	[	I	[	
21.9	22.0	1273	1217	788	696	485	521	180	180	1:5
26.3	25.3	1365	1372	1000	963	365	409	200	200	1:3
31.1	29.4	1429	1449	1154	1137	275	312	220	220	1:2
26.9		1253		722		531		B.F.I. 120		

مثال (١١ـ٥) ـ في المثال (١١ـ٣) ماتأثير ريـــح شـــــدته ١٠٠ كج/م٢ على السطح الرأسي ، على مقطع المدادة ؟

أولا ـ الريح الفعال على السطح المواجه :

$c = (1.2 \times .447 - 0.4) = .136$

$w = .136 \times 100 \times \frac{1.65}{.894} = 25 \ kg/m'$ (في اتجاه الجذع)

$p_x = 170 + 25 = 195 \ kg/m'$

$M_x = \frac{195 \times 6.0^2}{8} = 878 \ kgm$

$M_y =$ (كما سبق) $= 382 \ kgm$

$Z_x req = \frac{(878 + 7 \times 382)100}{1400 \times 1.15} = 221 \ cm^3$

For [220:

$f_{act} = \frac{87800}{245} + \frac{38200}{33.6} = 358 + 1137$

$= 1495 \ kg/cm^2$

$< 1610 \ kg/cm^2$ OK.

ثانيا ــ الريح الماص على السطح المقابل :

$c = -0.4$

$w = 0.4 \times 100 \times \frac{1.65}{.894} = 74 \ kg/m'$

أدنى حمل فى اتجاه الجذع (الأغطية والوزن الذاتي)

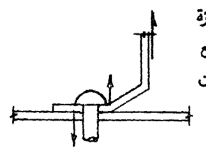
$(28 + 29.4) \times .894 = 52 \ kg/m'$

$p^- = 74 - 52 = 22 \ kg/m'$ القوة الماصة

القوة الماصة عند مرتكز مدادتين على الجمالون :

$p^- = 22 \times 6.0 = 132 \ kg$

يقاوم هذه القوة النازعة البراغي الأربعة التى تربط المدادتين بالقبقاب فى قص خرد ، كما يقاومها البرشامان اللذان يربطان القبقاب بالوتر العلوي واللذان يتعرضان لشد . ويلاحظ أن رجل القبقاب على الجمل معرضة لعزم حني (شكل ١١ــ٢٣) .


شكل (١١ـ٢٣)

من الأمثلة ١ـ٤ لتصميم المدادة المرتكزة على سطح مائل من مقطع مجرة أو مقطـع I عادى يتبين أن الجهـــود الناشئة عن M_y:

١ـ أكبر من تلك الناشئة عن M_x ٠

٢ـ تزداد كلما ازداد ميل السطح ٠

كما يلاحظ أنه لصغر عزم عطالة المقطع حول المحــــور y-y فــإن سهم الانحنا٠ فى اتجاه ميل السطح ، ويكون ذلك مصحوبا بالحركــة الجانبية لشفة الضغط قليلة العرض، بسبب التحنيب الجانبي ٠

فلكيْ يكون مقطع المدادة اقتصاديا ـ بعد أن حُـــدِّد عســـيط الجمالونات ـ يجب تقليل الجهود الناشئة عن P_y ويكون ذلك بأحد طريقين :

أ ـ تقليل ميل سطح الجمالون؛ولو أن تأثيره غير كبير، كما يتضـح من الجدول (١١ـ٤) ٠

جـــدول (١١ـ٤)

ميل السطح	عزم الحنـي M_y kg m	نســبة النقــص فى العــزم
1:2	382	-
1:3	260	32%
1:5	156	59%

ب ـ تقليل فتحة المدادة بالنسبة إلي الاتجاه الضعيف للمقطع y-y

ويكون ذلك بسندها جانبيا فيما بين الجملين ، وذلك يجعلها مستمرة في ذلك الاتجاه • وبذلك تقل عزوم الحني ويقل سهم الانحناء كما فى الجدول (١١ــ٥) •

جدول (١١ــ٥)

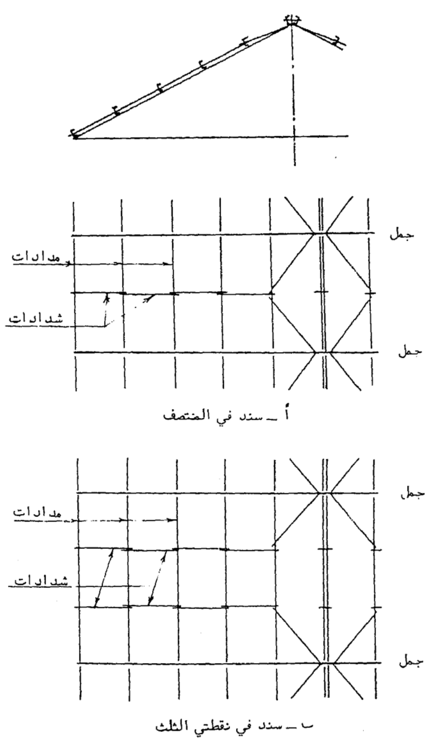
حالة المدادة	الفتحة	عزم الحني M_y	التغير في عزم الحني	التغير في السهم
غير مسنودة	l	$p\frac{l^2}{8}$	-	-
مسنودة في المنتصف	$\frac{l}{2}$	$\pm p\frac{l^2}{40}$	1 : 5	1 : 16
مسنودة في نقطتي الثلث	$\frac{l}{3}$	$\pm p\frac{l^2}{90}$	1 : 11.1	1 : 81

وتستعمل لهذا الغرض شدادات (Tie rods or Sag rods) تعمل من أسياخ مبرومة مقلوظة الطرفين،تربط في خط بين كل مدادتين • ويثقب جذع المدادة فيما بين منتصفه وبين نقطة الثلث العليا • وفي الفتحات التي لاتجاوز أربعة أمتار يستعمل شداد واحد (شكل ١١ــ٢٤ أ) وفي الفتحات الأكبر يستعمل شدادان (شكل ١١ــ٢٤ ب) •

وتنتقل المركبات p_y من الشداد الأدني إلي الشداد الأعلي؛ وهناك يجب إيصال القوى المجمعة إلي الجمل ، وذلك بإحدى طريقتين :

١ ــ إمالة الشدادين الأخيرين حيث ينقلان تلك القوة إلي الوتر العلوي للجمل • وهذه أكثر شيوعا ، إلا أنها تكون ضرورية في الحالات المبينة بشكل (١١ــ٢٥) :

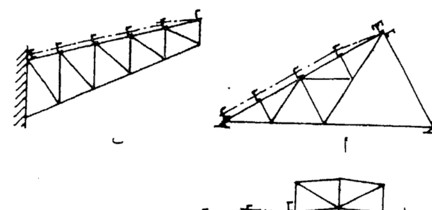
أ ــ إذا كانت قمة الجمل غير متماثلة •

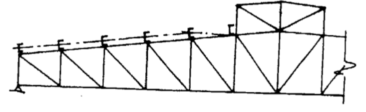


أ ـ سند في المنتصف

ب ـ سند في نقطتي الثلث

شكل (١١ ـ ٢٤) ـ سند المدادة على منحدر بالشدادات
(السطح مرود في المسقط الأفقي)

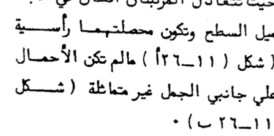


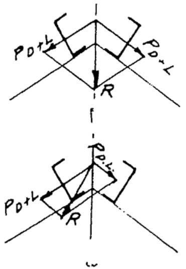


شكل (١١ــ٢٥)

ب ــ إذا كان طرف الجمالون ممتدا إلي الأعلــي •

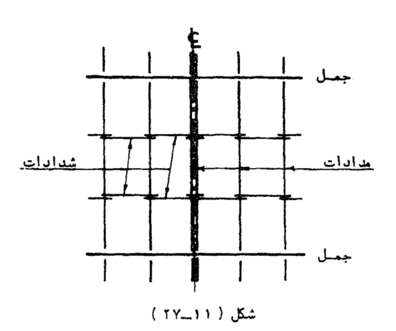
حـ ــ إذا كان الجمل مزودا بشخشيخة •


أما المدادتان عندالقمة فتربطان معــا حيث تتعادل المركبتان اللتان في اتجاه ميل السطح وتكون محصلتهمــا رأســية (شكل (١١ــ٢٦أ) مالم تكن الأحمــال علي جانبي الجمل غير متماثلة (شــكل ١١ــ٢٦ ب) •



شكل ١١ــ٢٦)

د ــ بجعل الشدادات مســتمرة حتي المدادة (أو المدادتين) عنــد القمة وبذلك تنتقل كل المركبــات Py هناك وتؤثر محصلتها عند قمــة الجمــل (شكل ١١ــ٢٧) •



شكل (١١ــ٢٧)

ولبيان تأثير الشدادات على المـدادة نعيد حساب المثال (١١ــ٣).

مثال (١١ــ٦) ــ في المثال (١١ــ٣) ماذا يكون مقطع المـدادة إذا سندت :

أ ــ في منتصفها ، ب ــ في نقطتي الثلث ؟

مجموع الأحمال $p = 190\ kg/m'$

الحمل في اتجاه الجذع $p_x = 170\ kg/m'$

الحمل عموديا على الجذع $p_y = 85\ kg/m'$

أ ــ $M_x = \frac{170 \times 6.0^2}{8} = 765\ kgm$

$$M_y = \frac{85 \times \left(\frac{6.0}{2}\right)^2}{10} = 76.5\ kg\ m$$

$$Z_{req.} = \frac{(765 + 6 \times 76.5)100}{1400} = 87\ cm^3$$

Try [140; $Z_x = 86.4\ cm^3$, $Z_y = 14.8\ cm^3$

$$f_{act} = \frac{76500}{86.4} + \frac{7650}{14.8} = 885 + 528$$
$$= 1418 \ kg/cm^2$$
$$\sim 1400 \ kg/cm^2$$

ب —

$$M_x = 765 \ kg \ m$$

$$M_y = \frac{85(\frac{6.0}{3})^2}{10} = 34 \ kg \ m$$

$$Z_{req.} = \frac{(765+6x34)100}{1400} = 69 \ cm^3$$

For [140:

$$f_{act} = \frac{76500}{86.4} + \frac{3400}{14.8} = 885 + 230$$
$$= 1115 \ kg/cm^2$$

بمقارنة نتائج المثال (١١ــ٣) مع نتائج المثال (١١ــ٦) نجد أن نسبة الجهدين $f_x : f_y$ قد انعكست ، إذ انخفض الجهد f_y إلى أقل من النصف عند سند المدادة في منتصفها وإلى أقل من الخمس عند سندها في نقطتي الثلث ، هذا رغما من الصّغَر الملحوظ في المقطع والذي أدى إلى زيادة الجهد f_x ٥ر٣ مرات .

جدول (١١ــ٦) تأثير الشداد على الجهود الفعلية

المقطع	f_{act}	f_y	f_x	حالة المدادة
	kg/cm^2			
[200	1449	1137	312	غير مسنودة
[140*	1413	528	885	مسنودة في المنتصف
[140**	1115	230	885	مسنودة في نقطتي الثلث

ويبين الجدول (١١ـ٧) كيف أن سند المدادة في منتصفها أنقص M_y بنسبة 80% وأنقص معاير المقطع المطلوب بنسبة 65% وأنقص المقطع المطلوب بنسبة 46%. والنقص أكبر من هذا عند سند المدادة في نقطتي الثلث ولولا القيود على العمق الأدنى لكان الوفر في المقطع ملحوظا .

جدول (١١ـ٧)

حالة المدادة	M_x kg m	نسبة النقص	Z_{req} (cm^3)	نسبة النقص	المقطع المختار المقاس	الوزن	نسبة الوفر
غير مسنودة	382.0	-	246	-	[220	29.4	-
مسنودة في المنتصف	76.5	80%	87	65%	[140*	16.0	46%***
مسنودة في نقطتي الثلث	34.0	91%	69	72%	[140**	(16.0)	(46%)

* أورد هذا المقاس للمقارنة ، فقد يكون غير مستوف لشرط العمق

** قد يكون هذا المقطع غير ملائم للمقارنة ، حيث الجهود فيه تقل عنها في المقطع غير المسنود بنسبة ٢١٪ .

*** لا يمثل هذا الرقم الوفر الفعلي في المدادة ، إذ أن بعض الوفر يستنفد في ثمن الشدادات وتكلفة تشغيلها وتركيبها .
ففي المثال الفرق في وزن المدادة :

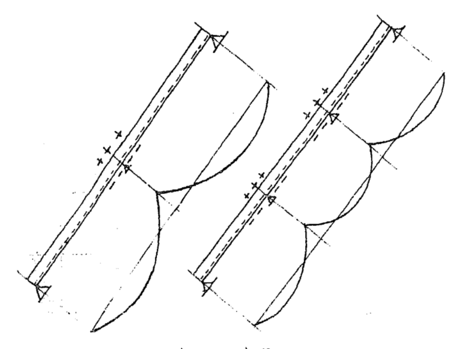
$$W = (29.4-16.0)\times 6 = 80 \text{ kg}$$

وزن الشداد قطر ١٦ مم (مضاعفا لتغطية التكلفة)

$$W' = 2\times 1.75\times 1.57\times 2 = 12 \text{ kg}$$

ملحوظة :

عند سند المدادة التي على ضحد ر،محدثا عزوم حني (سالبة) حول المحور y-y عند نقط السند ، وهذه بالطبع أكبر من الموجبة، وبذلك تكون جهود الضغط العالية في ألياف الجذع (شكل ١١ـ٢٨).



شكل (١١ـ٢٨)

ومن هنا ينتظر أن يقل احتمال حدوث تحنيب جانبي للشفة ، يضاف إلي ذلك مايساهم به تغير الجهود في طول المدادة بين شد وضغط في مقاومة ذلك التحنيب . هذا ولايمكن اعتبار الشداد سنادة فعالة للشفة .

حساب الشدادات

القوى في الشدادات :

يحسب الشداد ليقاوم رد فعل المركبة في الاتجاه y - y (الموازية للسطح) .

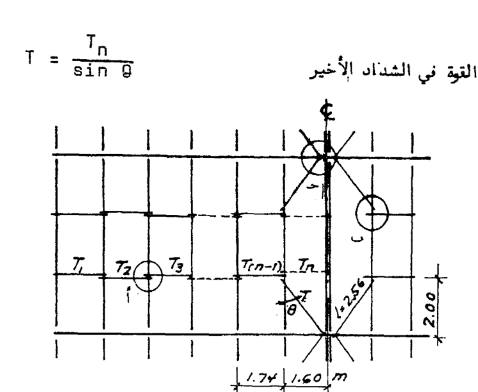
القوة في الشداد الأول من المدادة الطرفية

$T_1 = 1.1\ p'_y \times \frac{s}{3}$

القوة في الشداد الثاني $T_2 = T_1 + 1.1\ p_y \times \frac{s}{3}$

القوة في الشداد "الموازى" $T_n = T_1 + 1.1(n-1) p_y \times \frac{s}{3}$

القوة في الشداد الأخير $T = \frac{T_n}{\sin \theta}$



شكل (١١ـ٢٩)

اختيار المقطع :

لما كانت القوة التي يتعرض لها الشداد صغيرة فإنه يكفي لمقاومتها سيخ ذو مقطع مستدير ٠ ولكي تنتقل المركبة Y من كل مدادة إلي التي أعلاها لزم أن ينفصل السيخ بين كل مدادتين و أن يزود كل من طرفيه بصامولة ، وبذلك يمكن ضبط استقامة المدادات ٠

ويفضل ألا يقل قطر الشداد عن ١٣ مم ، ولايتغير مقطع السيخ في كامل السطح ، وبذلك يُكتفَى بحساب الشداد الأخير ٠

مثال (١١ـ٧) ـ المطلوب حساب مقطع الشداد للمدادة في المثال (١١ـ٦) ، إذا كان الجمل مكونا من عشر عقل ٠

المركبة في اتجاه الوتر العلوى :

للمدادة المتوسطة 85.0 kg/m'

لمدادة الحرف 0.6x85.0 = 51.0 kg/m'

القوة في الشداد الخامس :

$$T_5 = 1.1 \times 51.0 \times 2.0 + 4 \times 1.1 \times 85.0 \times 2.0 = 860 \text{ kg}$$

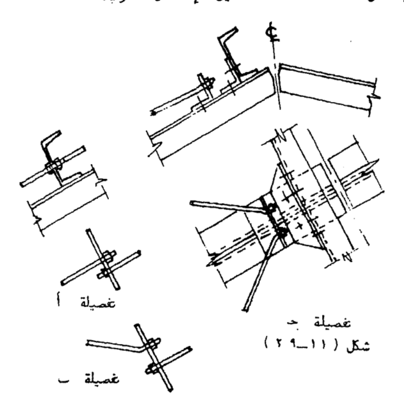
$$\sin \theta = 1.6/2.56 = .625$$ شكل (١١ـ٢٩)

$$T = \frac{860}{.625} = 1376 \text{ kg}$$

$$A_s = \frac{1376}{0.7 \times 1400} = 1.40 \text{ cm}^2$$

taken $\varnothing$ 16 mm ($A = 2.01 \text{ cm}^2$)

ويوضح شكل (١١ـ٣٠) التفاصيل الإنشائية لتركيب الشدادات .

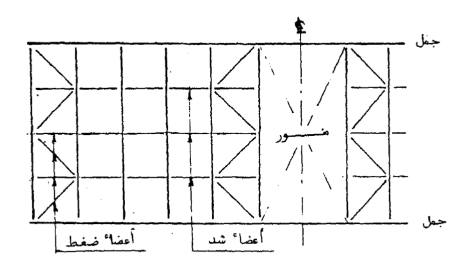


شكل (١١ـ٣٠) ـ تفاصيل الشدادات

المدادة الرأسية :

رغم أن المدادة الواقعة في المستوى الرأسي لا تتعرض لعزم حني مزدوج (إلا إذا أدخلنا ضغط الريح ، وهو عادة لا يكون حرجا) ، إلا

أنه يبقى من اللازم سند شفة المدادة التي تحت ضغط لمقاومة التحنيب الجانبي • ولهذا الغرض تستخدم مجموعتان من نظام الأربطة فيما بين المدادتين الأوليين وفيما بين المدادتين جهة المنتصف • فإذا وجد بالسطح منور وضع نظام الأربطة مجاورا له ، (شكل ١١ــ٣١)• والأغلب أن يكون هذا النظام من طراز (W) ويلزم أن تحسب جميع أعضائه لتعمل في الضغط • ولسند باقي المدادات البينية تمد أعضاء طولية ، لتعمل في الشد • ويلاحظ أن تكون وصلات جميع هذه الأربطة قرب شفة الضغط للمدادة •



شكل (١١ ــ٣١)
سند شفة الضغط للمدادة الرأسية

نخلص من دراسة تصميم المدادة إلى أنه ، قبل إجراء الحسابات الاستاتيكية يجب :

١ــ تعيين الحد الأدنى للعمق بحيث يقاوم الترخيم •
٢ــ دراسة سند شفة الضغط للمدادة الرأسية •
٣ــ دراسة سند المدادة على منحدر بشدادات •

كما وأنه بعد اختيار المقطع ، يجب التحقق من مقاومته للحمل المركّز

المفروض على السطح (١٥٠ كج) ، إضافةً إلى الأحمال الميتة .

مثال (١١ـ٧) ـ لمراجعة المدادة في المثال (١١ـ٦) .

$$p_{D.L.} = 58.0 \text{ kg/m'}$$

$$p_x = 58.0 \times .894 = 52.0 \text{ kg/m'}$$

$$p_y = 58.0 \times .447 = 26.0 \text{ kg/m'}$$

$$P_x = 150 \times .894 = 134.0 \text{ kg}$$

$$P_y = 150 \times .447 = 67.0 \text{ kg}$$

$$M_x = \frac{52 \times 6.0^2}{8} + 134 \times \frac{6}{4}$$

$$= 234 + 435 = 669 \text{ kg m}$$

$$M_y = \frac{26 \times 2.0^2}{10} + \frac{67 \times 2.0}{5}$$

$$= 10.4 + 20.8 = 37.2 \text{ kg m}.$$

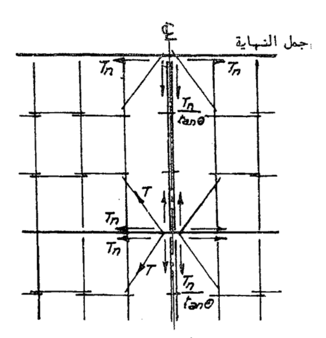
$$f = \frac{66900}{86.4} + \frac{3720}{14.8}$$

$$= 774 + 251 = 1025 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{O.K.}$$

دراسة

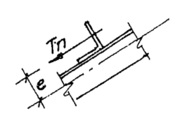
تأثير المركبة (Y) للأحمال من المدادات على الجمالون

يعدِّل استخدام الشدادات للمدادات في توزيع الأحمال على الجمالون ، فإن الحمل الذى ينتقل من المدادة إلى الجمالون يصبح عبارة عن المركبة (X) لجميع الأحمال والمركبة (Y) للأحمال على نصف المدادة ،عند استخدام شداد واحد وعلى ثلث المدادة ، عند استخدام شدادين . أما باقي المركبة (Y) فإنها تنتقل ، بعد تجمعها في الشداد الأخير ، إما إلى الوتر العلوى للجمالون (راجع شكل ١١ـ٢٩) وإما إلى مدادة القمة (راجع شكل ١١ـ٢٧).

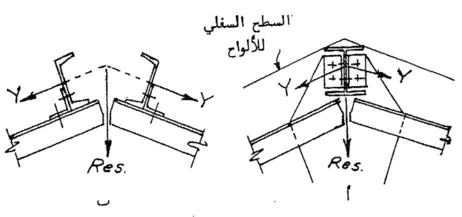


شكل (١١ـ٣٢) - تأثير الشدادات على جمل النهاية

فإذا نقلت القوة (T) في الشداد الأخير إلى الوتر العلوي للجمالون فإن مركبتها في اتجاه الوتر العلوي تساوي (T_n) ، مجموع المركبات في الاتجاه y-y ، كما تتولد عن ميل الشداد قوة عمودية على الوتر تساوى $T_n/\sin\theta$ ، (شكل ١١ـ٣٢) . فعند جمل متوسط تتزن القوتان العموديتان ، بينما يؤثر على الوتر العلوي في اتجاهه قوة تساوي $2\ T_n$. وإذا اختلفت القوتان T على جانبي الوتر العلوى بسبب اختلاف حالات التحميل يتسبب فرق القوتين العموديتين في حدوث عزم حني حول محوره القوى Y-Y . كما يتعرض الوتر العلوي أو العقدة المجاورة لرباط الشداد فيه لعزم حني آخر حول المحور الضعيف x-x للوتر، ناشئ عن زخزحة القوة T_n عن ذلك المحور ، (شكل ١١ـ٣٣) . إلا أن نقل قوة الشدادات إلى مدادة القمة يخلص الوتر من معظم هذه العزوم (شكل ١١ـ٣٤) . وفي هذه الحالة تحسب مدادة القمة لتقاوم ـ

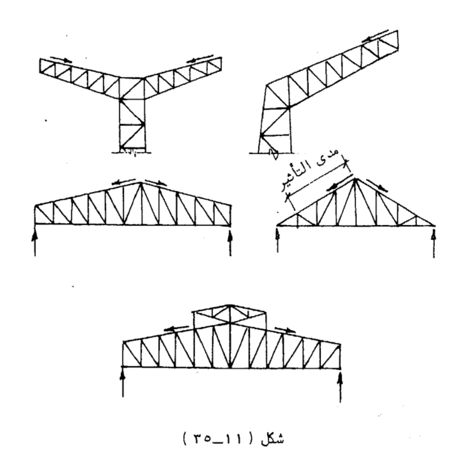


شكل (١١ـ٣٣)



شكل (١١ــ٣٤)

بالإضافة إلى الأحمال التي عليها ــ محصلة قوتي الشد التي تكون رأسية إذا تماثلت القوتان ٠ أما إذا اختلفت القوتان فإن مدادة القمة تتعرض لعزم حني مزدوج ٠



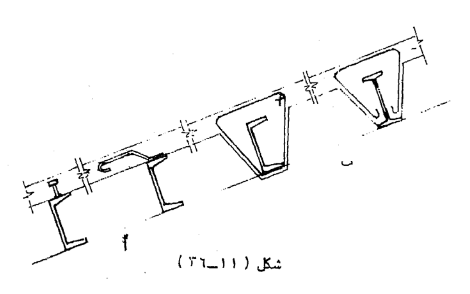
شكل (١١ــ٣٥)

وتجدر ملاحظة أن هذه القوى (T) ليست قوى إضافية على الجمالون ، وقد سبق أن أشرنا إلى ذلك في بدء هذه الدراسة . لكن ماحدث هو تعديل في توزيع الأحمال ، إذ قلّت الأحمال عند العقد وزادت قوة إضافية عند وصلة الشداد بالوتر العلوى أو عند مدادة القمة . ومن ثم تظل ردود الأفعال عند الركائز دون تغيير.

ويختلف تأثير قوة الشداد على أعضاء الجمالون بحسب طرازه وموقع القوة من الوتر (شكل ١١ــ٣٥) .

تغطية السطح بالخرسانة المسلحة

إذا غُطِّي السطح المنحدر لجمالون ببلاطة مصبوبة عليه وجب أن يكون هناك ارتباط فيما بين البلاطة الخرسانية والمدادة الفولاذية (شكل ١١ــ٣٦) ، إما بلحام عناصر بشفة المدادة التي ترتكز عليها البلاطة (أ) وإما بتغليف المدادة بالخرسانة المسلحة (ب)



شكل (١١ــ٣٦)

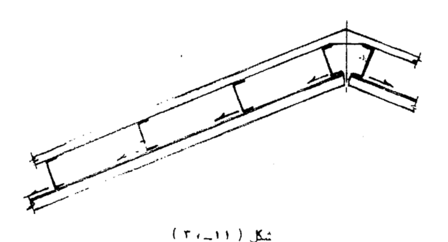
ولهذا الارتباط الميزات التالية :

١ ــ أن زيادة سمك البلاطة عند المدادة حيث عزم الحني السالب يقلل من التسليح اللازم له . كما يمكن أن يقلل من السمك المطلوب للبلاطة .

٢ــ يساعد الارتباط في أن تشترك البلاطة مع الكمرة في مقاومة عزم الحني ، مما يحقق وفرا في المقطع الفولاذي ·

٣ــ يمتنع حدوث ترخيم للمدادة في اتجاهها الضعيف وبذلك لاينشأ عزم حني عن المركّبة ·

وتنتقل ردود أفعال المركّبات P_y إلى مرتكز المدادات علـى الجملـ (شكل ١١ــ٣٧ أ) وينصح بتقوية البلاطة عند القمة ، لمقاومة قوى الشد على الجانبين ·



شكل (١١ــ٣٠)

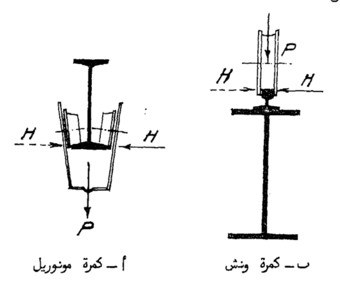
الفصل الثاني عشر

الكمرات المعرضة لعزم حني مزدوج

كثيرا ماتتعرض الكمرات في المنشئات لعزم حني مزدوج ، كما في العناصر التالية ؛ وقد تصاحبها أحيانا قوى عمودية :

١ــ الكمرة الحاملة لمرفاع وحيد القضيب (مونوريل Monorail) ــ أ ــ أو ونش علوي سيار (Overhead travelling crane)
ــ ب ــ حيث تؤثر عليها قوة جانبية وقوة طولية مصاحبة للحمل الرأسي (شكل (١٢ــ١) ٠

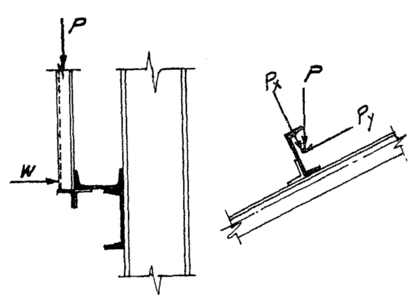
٢ــ مدادة السطح عندما ترتكز على سطح منحدر وبذلك لاتقع الأحمال الرأسية في مستوى أيٍّ من المحورين الرئيسيين (شكل ١٢ــ٢ أ) ٠



أ ــ كمرة مونوريل

ب ــ كمرة ونش

شكل (١٢ــ١)



أ ــ مدادة سطح ب ــ مدادة جانبية (مركبة)

شكل (١٢ــ٢)

٣ــ مدادات الجانب التي تحمل الأغطية الرأسية وتؤثر عليها قوة الريح الأفقية (شكل ١٢ــ٢ ب).

٤ــ الكمرة الطولية في جسر سكة الحديد حيث تؤثر عليها صدمة جانبية إضافة إلى الأحمال الرأسية .

٥ــ الكمرة العرضية في جسر سكة الحديد حين تخضع لتأثير قوة الكبح .

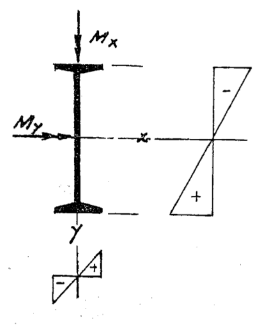
٦ــ بعض أعمدة الإطارات التي لا يمكن سندها في الاتجاه الطولي .

اختيار المقطع :

إذا تعرضت كمرة لأحمال عمودية على كل من محوريها الرئيسيين فإن الجهود العمودية في مقطعها تحسب من المعادلة :

$$f = \pm \frac{M_x \cdot y}{I_x} \pm \frac{M_y \cdot x}{I_y} \qquad (12\text{-}1)$$

$$f = \pm \frac{M_x}{Z_x} \pm \frac{M_y}{Z_y} \qquad (12\text{-}2)$$



شكل (١٢ـ٣)

وبوضع هذه المعادلة في الصورة التصميمية :

$$Req.\ Z_x = \frac{M_x + \frac{Z_x}{Z_y} M_y}{f_{pt}} \qquad (12-3)$$

ولما كانت هذه المعادلة تحوي مجهولين : Z_x و Z_y ، فإنه يمكن حلها عن طريق التجربة . فإذا فرضنا العلاقة التالية بين هذين المجهولين:

$$Z_x = K \cdot Z_y \qquad (12-4)$$

تصبح المعادلة التصميمية :

$$req\ Z_x = \frac{M_x + K\ M_y}{f_{pt}} \qquad (12-5)$$

أما عن القيمة التي تفرض للمعامل K ، فإنها تتوقف على طبيعة المقطع : المدلفن والمبني .

أولا : المقاطع المدلفنة :

أ ــ بمراجعة جداول المقاطع المدلفنة من شكل I العادية وشكل I عريضة الشفة وشكل [مجرة ، نجد أنه ثمة علاقة بين Z_x و Z_y وإن اختلفت النسبة بين مقطعين من شكلين مختلفين، كما تختلف للمقاسات المختلفة من نفس الشكل • ويبين الجدول التالي (١٢ــ١) قيم K للمقاطع المدلفنة •

جدول (١٢ــ١)

النسبة بين Z_x و Z_y للمقاطع المدلفة

المقطع	$K = Z_x / Z_y$											
ورقمه	1000	900	800	700	600	500	400	300	200	160	140	100
[	-	-	-	-	-	-	10.0	7.9	7.0	6.3	5.8	4.9
S.I.B	-	-	-	-	10.7	10.3	9.8	9.0	8.0	7.9	7.7	7.0
B.F.I.B	11.8	10.4	9.0	7.6	6.3	5.1	4.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7

ب ــ نظرا للتفاوت الكبير في قيم (K) فإن اختيار القيمة المناسبة غير متيسر لأول وهلة • ويكفي اختيار قيمة متوسطة، ثم تراجع الجداول لمقطع مبدئي يناسب قيمة Z_x المحسوبة وتقارن النسبة بين معايري مقطعه بقيمة (K) المختارة فإذا كان الفرق كبيرا أعيد اختيار مقطع آخر قبل تحقيق الجهود (انظر المثال ١٢ــ٢) •

حـ ــ يلاحظ من المعادلة (12-5) أن تأثير العزم M_y علي اختيار المقطع يتضاعف بقيمة المعامل (K) ولما كانت قيمة (K)

للمقاطع عريضة الشفة أصغر منها للمقاطع العادية كان المقطع عريض الشفة أنسب لكمرة عند ما تتعرض لعزم حني مزدوج · هذا بالاضافة إلي أن العرض الأكبر للشفة يجعل الكمرة أكثر استقرارا بالنسبة للتحنيب الجانبي لشفة الضغط ·

د ـ إذا احتوت أى من الشفتين علي ثقوب لبراغي وخاصة لو كانت تلك الثقوب في منطقة معرضة للشد وجب زيادة قيمة Z_x المحسوبة بنحو ١٥٪ ، ثم يحقق الجهد الفعلي من واقع القيمة الصافية لكل من Z_x و Z_y ·

مثال (١٢ـ١) ـ المطلوب اختيار مقطع I لكمرة بحرها 5.80 m وتحمل حملا موزعا قدره 3000 kg/m' ، وتؤثر عليها قوة جانبية قدرها 500 kg/m' ·

$$M_x = 12,650 \text{ kgm}$$
$$M_y = 2100 \text{ kgm}$$

أ ـ مقطع I عريض الشفة

لنأخذ

$$Z_x = 5\ Z_y$$

$$\text{Req } Z_x = \frac{(12540+5\times2100)\times100}{1400} = 1654 \text{ cm}^3$$

$$\text{B.F.I } 300 : Z_x = 1720 \text{ cm}^3$$
$$Z_y = 600 \text{ cm}^3$$
$$K \sim 3 < 5$$

لذا تجب إعادة الاختيار :

$$\text{Req. } Z_x = \frac{(12650+3\times2100)\times100}{1400} = 1359 \text{ cm}^3$$

$$\text{B.F.I } 280 : Z_x = 1480 \text{ cm}^3$$
$$Z_y = 523 \text{ cm}^3$$

$$f_{act} = \pm \frac{1265000}{1480} \pm \frac{210000}{523}$$

$$= \pm 855 \pm 402$$

$$= \pm 1257 \ kg/cm^2$$

$$< 1400 \ kg/cm^2 \qquad O.K.$$

ب ــ مقطع I عادي

$$Z_x = 9 \ Z_y$$

$$Req. \ Z_x = \frac{(12540+9x2100)x100}{1400} = 2254 \ cm^3$$

S.I.B. 475 $Z_x = 2380 \ cm^3$

$Z_y = 235 \ cm^3$

K 10

$$f_{act} = \pm \frac{1265000}{2380} \pm \frac{210000}{235}$$

$$= \pm 532 \pm 984$$

$$= \pm 1426 \ kg/cm^2$$ (يمكـن قبولـــه)

المناقشــة :

١ ــ إن الجهود في المقطع I العادى الناشئة عن العزم M_y أكبـر بكثير من الجهود الناشئة عن العزم M_x، كما وأنـها أكثـر مـن ضعف مثيلتها للمقطع عريض الشفة وهذا ماسبق أن أوضحناه فـي الفقرة (حـ) .

٢ ــ إنّ كِبَرَ تأثير M_y يوحي بأنه من الأنسب تقليل ذلك التأثير ويكـون ذلك بإحدى طريقتين :

ــ تقليل الحمل ــ أو القوة ــ في ذلك الاتجاه ، إذا كان ذلـك متيســرا .

ـ تصغير فتحة الكمرة في ذلك الاتجاه ، أو بمعني آخر سند الكمرة جانبيا فيقل عزم الحني ، كما سنفصله فيما بعد •

٣ـ يزن المتر الطولي من الكمرة عريضة الشفة ١١٣ كج ومن الكمرة العادية ١٢٨ كج أى أن الأخيرة أثقل بنحو ١٣٪ (مع غض النظر عن الفرق في الجهد الفعلي) • وسنرى في الفقرة التالية أن هذا ليس كل عيب المقطع العادي •

٤ـ استقرار شفة الضغط

أ ـ المقطع عريض الشفة :

$$b = 28.0 \text{ cm} \; , \; t = 2.0 \text{ cm}$$

$$h = 28.0 \text{ cm} \; , \; t = 1.2 \text{ cm}$$

$$\frac{L.d}{b.t} = \frac{580.0 \times 28.0}{28.0 \times 2.0} = 290 < 600$$

أى أن الشفة مستقرة ويكون الجهد المسموح به هو f_{pt}

ب ـ المقطع I العادى :

$$b = 13.7 \text{ cm} \; , \; t = 1.83 \text{ cm}$$

$$h = 47.5 \text{ cm} \; , \; t = 1.22 \text{ cm}$$

$$\frac{L.d}{b.t} = \frac{580.0 \times 47.5}{13.7 \times 1.83} = 1053 > 600$$

ويكون الجهد المسموح به حسب المواصفات الأمريكية :

$$f_{pB} = \frac{840,000}{1053} = 798 \text{ kg/cm}^2$$

وعلى هذا يكون المقطع العادى I475 غير سليم •

ولكي تقاوم الشفة التحنيب ، يجب أن يكون طولها الحر :

$$L_B = \frac{600 \times 47.5}{13.7 \times 1.83} = 317 \text{ cm}$$

أى أنه يجب سند الكمرة جانبيا في منتصفها •

وبمقارنة هذه بالمواصفات المصرية التي تنص على ألا يزيد طول الشفة الحر على ١٥ مرة عرضها أى :

$$L_B \not> 15 \times 13.7 \not> 205 \text{ cm}$$

أى أنه يجب سند الكمرة جانبيا في نقطتي الثلث ٠

ولكن سند الكمرة جانبيا يؤدي في نفس الوقت إلى تقليل عزم الحني M_y في ذلك الاتجاه ، وبازدياد نقط السند يتناقص عزم الحني ٠ ويعتبر هذا الحل مثاليا طالما كان ذلك ممكنا كما في مدادات السطح والمدادات الجانبية في المنشئات ، وكذلك الكمرات الطولية والعرضية في الكباري ٠ إلا أنه يجب ، في جميع الأحوال ، سند الكمرة جانبيا عند نقط ارتكازها لنقل مركبة الحمل P_y إلى الركيزة ٠

أما كمرة المرفاع وحيد القضيب فإنه يتعذر سندها جانبيا فيما بين نقط ارتكازها ، وربما كان أبسط الحلول هو زيادة عرض الشفة بلحام لوح فوقها أو لوحين بجانبيها (شكل ١٢ــ٤) ٠ ويجب أن يحقق سمك اللوح المضاف شرط مقاومة التحنيب الموضعي للشفة ٠

$t \not< \frac{b'}{15}$ للكمرات العادية ٠

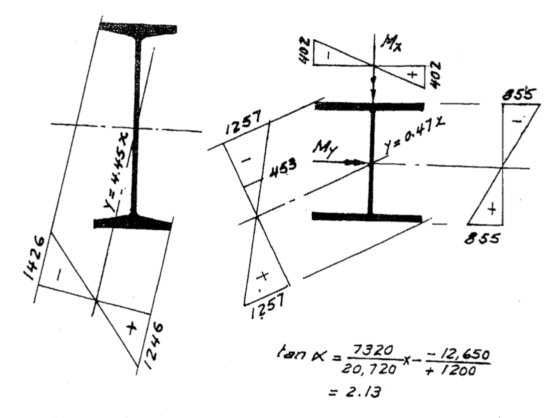
$t \not< \frac{b'}{12}$ للكمرات الملحومة ٠

وقد تحقق هذه الإضافة وفرا في المقطع المختار ، وبذلك يلزم إعادة الحسابات بعد اختيار لوح التقوية ٠

شكل (١٢ــ٤)

المحور المحايد :

يلاحظ أنه في المقطع المعرض لعزم حني مزدوج يميل المحور المحايد على المحور الرئيسي للمقطع حتى ولو كان المقطع متماثلا شكل (١٢ــ٥) ٠



شكل (١٢ــ٥ ب)

شكل (١٢ــ٥ أ)

ويحسب ميل المحور المحايد من مساواة الجهد بالصفر عند مركز المقطع

$$0 = \frac{M_x \cdot y}{I_x} + \frac{M_y \cdot x}{I_y} \qquad (12-6)$$

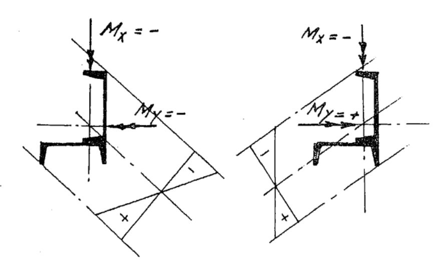
$$y = \frac{M_y}{I_y} \cdot \frac{I_x}{M_x} \, x \qquad (12-7)$$

ويكون ميل المحور المحايد :

$$\tan \emptyset = \frac{I_x}{I_y} \cdot \left(- \frac{M_y}{M_x}\right)$$

أى أن الميل يتوقف على إشارة كل من M_x و M_y (شكل ١٢ــ٦) .

ولما كان كل من الحدين في المعادلة (12-6) يحمل الإشارتين ±



شكل (١٢ـ٦)

، كان من اللازم الاتفاق على نظام لإشارة كل من عزمي الحني • وسوف نعتبر هنا إشارة عزم الحني سالبة إذا أحدثت جهود ضغط في الربع الأول من الإحداثيات • وسوف نعود إلى هذا الموضوع بتفصيل أكبر فيما بعد •

ثانيا : مقطع I مبني ملحوم :

المعتاد في اختيار المقطع المبني المعرض لعزم حني منفرد فَرض عمق المقطع ومنه تحسب المساحة اللازمة للشفة • فإذا تعرض المقطع المبني لعزم حني مزدوج وجب اختيار كل من العمق وعرض الشفة لما لكلٍ منهما من تأثير على معاير المقطع حول المحور العمودى عليه • كما أن عرض الشفة يؤثر على مقاومتها للتحنيب الجانبي • ومن هنا يمكن استنتاج العلاقة فيما بين Z_x و Z_y والتي يمثلها المعامل (K)

في المقطع المبين بشكل (١٢ـ٧) :

بالنسبة للمحور x ـ x :

يمكن كتابة معادلة عزم العطالة :

$$I_x = A\ r_x^2$$

ومن العلاقة التقريبية بين r_x وعمق المقطع :

$$r_x \simeq 0.4\ d$$

$$Z_x \simeq 0.32\ Ad \qquad (12\text{-}8\ a)$$

وبالنسبة للمحور y-y:

$$I_y \simeq \frac{2\ t\ b^3}{12}$$

وبفرض مساحة الشفتين بالنسبة لمساحة المقطع :

$$A_{fl} = c.A$$

$$Z_y \sim \frac{c\ A\ b}{6} \qquad (12\text{-}8\ b)$$

وبذلك تكون النسبة بين Z_x و Z_y :

$$K = \frac{1.92}{c}\ \frac{d}{b} \qquad (12\text{-}8\ c)$$

$$K = C\ \frac{d}{b} \qquad (12\text{-}8)$$

شكل (١٢ـ٧)

وليست النسبة c بين مساحة الشفة ومساحة المقطع ثابتة فهي تتأثر بالعمق ، ففي المقاطع I العادية تقل كلما ازداد العمق (من 0.61 إلى 0.55) وفي المقاطع I عريضة الشفة تقل من 0.78 إلى 0.54 ــ بدءًا من رقم 300) وتصل هذه النسبة إلى نحو 0.60 في الكمرات كبيرة العمق • ويبين الجدول (١٢ـ٢) قيم المعامل (C)

المناظرة للنسبة (c)

جـــدول (١٢ــ٢)

$c = \frac{A_{f1}}{A}$	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
$C = \frac{1.92}{c}$	3.84	3.50	3.20	2.95	2.74	2.56	2.40

ولما كانت قيمة المعامل (C) التي تؤثر على اختيار المقطع تتوقف على عوامل كثيرة منها النسبة بين عمق المقطع وعرضه والنسبة بين عزمي الحني اللذين يتعرض لهما المقطع والنسبة بين مساحة الشفة ومساحة المقطع ، وبذلك لايمكن تحديدها مسبقا، فقد يقتضي الحساب أكثر من محاولة . فإذا اعتبرنا أن النسبة بين مساحة الشفتين تتراوح بين 0.55 و 0.65 من مساحة المقصع فإنه يمكن تقدير قيمة مبدئية للمعامل (C) ولتكن (3) . وعندئذ يصبح اختيار مقطع لكمرة معرضة لعزم حني مزدوج أمرا هينا ، كما يتضح من المثال التالي :

مثال (١٢ــ٢) ــ المطلوب اختيار مقطع ملحوم للكمرة الموصوفة في المثال (١٢ــ١) . بالمقارنة بالكمرة I العادية (حيث كان عمق المقطع ٤٧٥ مم) :

بأخذ $C = 3 \quad , \quad b = 250 \ , \ h = 480 \text{ mm}$

$$K = \frac{3 \times 48}{25} = 5.8$$

المعامل الافتراضي للمقطع : $Z_x = \frac{(12650+5.8 \times 2100) \times 100}{1400}$

$$= 1773 \text{ cm}^3$$

المساحة التقريبية للمقطع Web 450x10 $A = 45.0 \text{ cm}^2$

Flanges 2x250x14 $= 70.0 \text{ cm}^2$

Total 115.0 cm^2

$$I_x = \frac{1.0 \times 45.0^2}{12} + 2 \times 25 \times 1.4 \times 23.2^2$$
$$= 45{,}270 \ cm^4$$

$$I_y = 2 \times \frac{1.4 \times 25.0^3}{12} = 3646 \ cm^4$$

$$Z_x = \frac{45{,}270}{23.9} = 1894 \ cm^3$$

$$Z_y = \frac{3646}{12.5} = 292 \ cm^3$$

$$f_{act} = \frac{1{,}265{,}000}{1894} + \frac{210{,}000}{292}$$

$$= 668 + 719 = \underline{1387} \ kg/cm^2$$

الجهد في الحدود المسموح بها ؛ ويبقى التحقق من استقرار شفة الضغط :

$$\frac{Ld}{bt} = \frac{580.0 \times 47.8}{25.0 \times 1.4} = 792 > 600$$

$$f_{pB} = \frac{840000}{792} = \underline{1060} \ kg/cm^2$$

وعلى هذا فالمقطع غير سليم ؛ وبتعديل المقطع إلى :

Web 420x10 = 42.0 cm^2

Flanges 2x280x14 = 78.4 cm^2

Total 120.4 cm^2

يصبح :

$$f_{act} = -1231 \ kg/cm^2$$
$$f_{pB} = 1267 \ kg/cm^2 \qquad O.K.$$

المقاطع المركبة للكمرات

يلجأ إلى استعمال المقطع المكون من عدة عناصر مدلفنة في الحالات الآتية :

١ــ إذا تعرضت كمرة لمؤثرات متعددة الاتجاهات .

٢ـ إذا لم يتيسر سند الكمرة جانبيا لمقاومة التحنيب العرضي لشفة الضغط .

٣ـ إذا اقتضت ظروف المبنى أن يحدد عمق الكرة ، أو لم يتيسر الحصول على المقطع الملائم .

٤ـ إذا طلب تقوية كمرة في منشأ قائم .

وقد يصبح المقطع بعد الإضافة متماثلا (شكل ١٢ـ٨ أ) ، وقد يصبح متماثلا حول محور واحد (شكل ١٢ـ٨ ب) ، وقد يصبح غير متماثل (شكل ١٢ـ٨ جـ) .

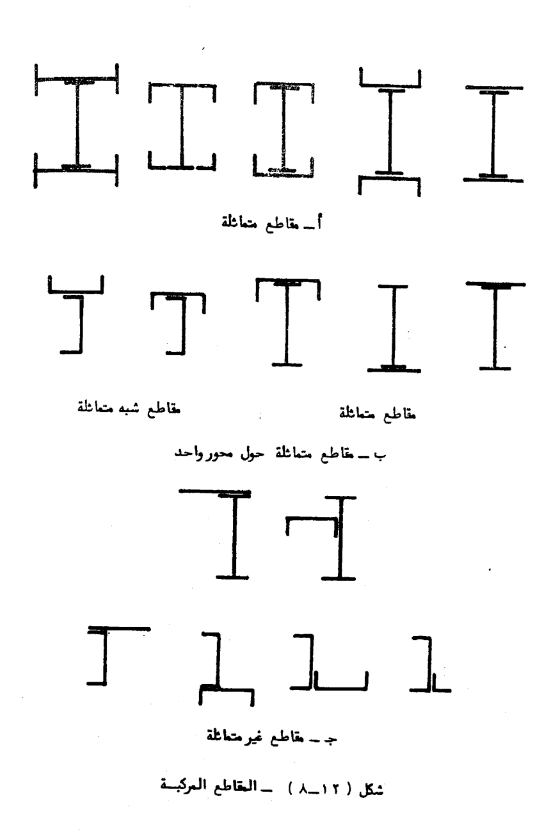
فلما كان كل من المقطع I العادي والمقطع المجرة ضعيفا بدرجة كبيرة حول محوره الأصغر فإن إضافة مقطع آخر يتعامد محوره الأكبر على ذلك المحور الأصغر يجعل المقطع المركب أقدر على مقاومة عزم الحني في ذلك الاتجاه . وعندما تكون هذه الإضافة عند شفة الضغط فإنها تزيد من مقدرتها حيث يزداد عرض الشفة أوسمكها أو كلاهما بحيث يصبح المقطع أقدر على مقاومة التحنيب الجانبي . كما قد يزيد المقطع المضاف من عمق المقطع المركب مما يزيد في جسائته . وعلى هذا فإن شكل المقطع المركب يتوقف على الغرض المطلوب له مثل كمرات الأوناش والكمرات حاملات الحوائط والمدادات الجانبية للأبنية الصناعية .

أولا ــ تقوية مقطع I لمقاومة عزم حني منفرد

أ ــ التقوية المتماثلة :

بإضافة عنصرين متماثلين (لوحين أو مقطعي مجرة) إلى مقطع I ، يزداد معاير المقطع فتزداد مقدرته كما يزداد عرض الشفة (أو عمقها) فتزداد مقدرتها على مقاومة التحنيب الجانبي (والموضعي) .

ولحساب مساحة كل من العنصرين (A_{pl}) المطلوبين لتقوية مقطع I ارتفاعه (h) وعزم عطالته (I_I) ومعايره (Z_I)



شكل (١٢ــ٨) ــ المقاطع المركبــة

عزم عطالة المقطع المقوّى :

$$I_{req} \simeq I_I + 2\ A_{pl}\left(\frac{h}{2}\right)^2 \qquad (a)$$

معاير المقطع المقوّى :

$$Z_{req} \simeq Z_I + A_{pl} \cdot h \qquad (b)$$

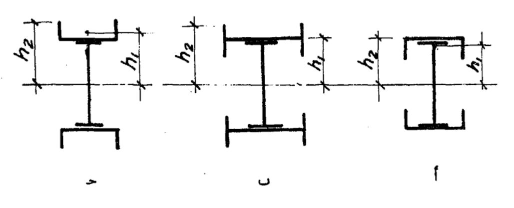
ومنها :

$$A_{pl} \simeq \frac{Z_{req} - Z_I}{h} \qquad (12-9)$$

وبعد إيجاد المساحة يختار عرض اللوح ليحقق استقرار شفة الضغط لمقاومة التحنيب الجانبي كما يحدد سمكه ليقاوم التحنيب الموضعي لشفة الضغط ، وفي النهاية يحقق الجهد الفعلي في المقطع .

شكل (١٢ـ٩)

وفي الخطوات التي استنتجت منها المعادلة (12-9) تقريب في قيمة (h) ويزداد هذا التقريب إذا كان عنصر التقوية مقطعا مدلفنا ، كما في شكل (١٢ـ١٠) .



شكل (١٢ـ١٠)

إذ يكون الفرق كبيرا بين قيمة h_1 المستعملة في المعادلة (a) وبين قيمة h_2 المستعملة في المعادلة (b) وكلتاهما مجهولة .

وتكون المساحة المطلوبة للعنصر المضاف أكبر مما تحسب من المعادلة (9-12) لما في هذه المعادلة من تقريب ، ويكون الفرق أكبر عندما تكون h_1 أقل من نصف عمق الكمرة ، وكذلك إذا زادت h_2 على نصف العمق • كما يتضح من الأمثلة التالية :

مثال (١٢-٣) ـ المطلوب تقوية مقطع S.I.B.200 ليصل إلى مقدرة مقطع S.I.B.240 لكمرة بحرها 5.80 m .

Section	I_x cm^4	Z_x cm^3	A cm^2
I 240x106	4250	354	46.1
I 200x90	2140	214	33.5

المساحة المطلوبة للتقوية حسب المعادلة (9-12) :

$$A_{pl} = \frac{354-214}{20} = 7.0 \text{ cm}^2$$

يبين شكل (١٢-١١) المقاطع والأوضاع للعناصر الممكن استخدامها

شكل (١٢-١١)

أ ـ باستعمال لوحين 2 PL 100 x 7

$$I_x = 2140+2\text{x}7.0\text{x}10.35^2 = 3640 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = \frac{3640}{10.7} = 340 \text{ cm}^3 < 354 \text{ cm}^3$$

(لغرض المقارنة ، إذا كانت مساحة اللوح 6.46 cm^2 فإن :

$$Z_x = \frac{3524}{1.07} = 329 \text{ cm}^3 ,$$

أَ ــ وإذا لُحم نفس اللوح (مقسوما) على جانبي الشفة كان
$(Z_x = 334\ cm^3$

إذا استخدمنا مجرة بدلا من اللوح كانت على حسب أحد الأوضاع التالية : مجرة على بطنها فوق شفة الكمرة I ؛ ويجب في هذه الحالة ألا يقل الجزء المستقيم من جذع المجرة عن عرض شفة الكمرة I . فإذا لم يكن ذلك،شُقت الكمرة المجرة من منتصفها ولحمت كما في شكل (ب) أو لحمت على جانبي الشفة كما في شكل (بَ) أو لحمت فوق الشفة على ظهرها كما في شكل (حـ) أو على بطنها كما في شكل (د) .

في هذه المسألة أقرب مجرة إلى المساحة المطلوبة هي :
$[60\times30,\ A=6.4\ cm^2,\ I_y=4.5\ cm^4,\ t=0.6cm,$
$e=0.91\ cm$

$$I_x = 2140+2\times4.5 + 2\times6.46(10.6-0.91)^2 = 3362\ cm^4 \qquad (ب)$$

$$Z_x = \frac{3362}{10.6} = 317\ cm^3$$

$$I_x = 3217\ cm^4 \qquad (بَ)$$

$$Z_x = 322\ cm^3$$

$$I_x = 2140+9.0+12.92(13.0-0.91)^2 = 4037\ cm^4 \qquad (حـ)$$

$$Z_x = \frac{4037}{13.0} = 311\ cm^3$$

$$I_x = 2140+9.0+12.92(10.0+0.91)^2 = 3687\ cm^4 \qquad (د)$$

$$Z_x = \frac{3687}{13.0} = 284\ cm^3$$

جدول (١٢-٣) ــ مقارنة

المقطع		(د)	(حـ)	(بَ)	(ب)	(أَ)	(أ)
cm^4	I_x	3687	4037	3217	3362	3343	3524
cm^3	Z_x	284	311	322	317	334	329
kg/cm^2	f_{pB}	1382	1382	1400	1400	811	1239

يتضح من الجدول ماسبق أن أشرنا إليه من تقريب يميل نحو النقص في حساب مساحة العنصر اللازم لتقوية مقطع I باستخدام المعادلة (9-12) • إذ يتبين أن أقرب قيمة لمعامل المقطع التي تفي بالغرض هي للمقطع (أَ) • ولكن المقطع (أ) أنسب منه عند ما تكون شفة الضغط غير مسنودة ، حيث الجهد المسموح به فيه أكبر كثيرا منه في (أَ) (١٢٣٩ : ٨١١ كج / سم٢) رغم أن عرض الشفة أكبر (٩٠ : ١٦ مم) ومعايير المقطع أصغر (٣٢٩ : ٣٣٤ سم٣) •

أما أكثر المقاطع جساءة فهو (حـ) وإن كان معايره أقل من (أ) بنحو ٦٪ ، إلا أن الجهد المسموح به أكبر (١٣٨٢ : ١٢٣٩ كج / سم٢) وبذلك يكون المقطع (حـ) أنسب المقاطع اختيارا ، طالما كان استعماله ممكنا عمليا •

ورغم أن المقطع (حـ) غير كاف لمقاومة عزم الحني المفروض ، حيث معايير المقطع $311\ cm^2$ بدلا من $352\ cm^2$ بنقص قدره 9.3% ، إلا أنه يلاحظ أن المقطع I الأصلي لايفي بشرط استقرار الشفة حيث ينخفض الجهد المسموح به فيه إلى $862\ kg/cm^2$ بنقص قدره 38.4% . وبذلك يكون المقطع المركب (حـ) وكذلك (أ) أكثر اقتصادا حيث مساحة أى منهما $46.42\ cm^2$ وهي تقارب مساحة المقطع $I(46.1\ cm^2)$.

وعلى العموم فإن المقطع المناسب هو S.I.B 200 مضافا إليه 2 Pl 110x7 ومعايره $354\ cm^2$ والجهد المسموح به فيه

هو $1361\ kg/cm^2$ ومساحته $48.9\ cm^2$.

مثال (١٢-٤) ـ في المثال (١٢-٣) ، ماذا تكون التقوية لـو استعمل مقطع S.I.B 180 ؟

I 180x82 $\quad I_x:1450\ cm^4 \quad Z_x = 161\ cm^3$

$A = 27.9\ cm^2$

$$A_{pl} = \frac{354-161}{18} = 10.7\ cm^2$$

أ ـ باستعمال لوحين 2 PL 110 x 10

$h=20.0cm,\ I_x=3436\ cm^4,\ Z_x=344\ cm^3$

باستعمال مقطعي مجرة $2[^S\ 80x45$

$A=11.0\ cm^2,\ I_y=19.4\ cm^4,\ t_w=0.6\ cm$

$e=1.45\ cm$

ب ـ $h=19.2\ cm,\ I_x=2950\ cm^4,\ Z_x=307\ cm^3$

حـ ـ $h=27.0\ cm,\ I_x=\underline{4683}\ cm^4,\ Z_x=\underline{347}\ cm^3$

د ـ $h=27.0\ cm,\ I_x=3890\ cm^4,\ Z_x=288\ cm^3$

لازال المقطع (حـ) أصلح المقاطع حيث يمتاز على (أ) بزيـادة الجساءة وفي كل هذه المقاطع الجهد المسموح بـه هـو $1400\ kg/cm^2$ • وربما كان المقطع (أ) في هذه الحالة أنسبها من الوجهة العمليـة •

ب ـ التقوية غير المتماثلة :

أولا ـ بإضافة عنصر عند إحدى الشفتين ، حيث يلجأ إليها إذا لـم تتيسر التقوية المتماثلة والغالب أن تكون الإضافة عند شـفة الضغط لزيادة مقدرتها على مقاومة التحنيب الجانبي.ويكثر استـخدام هـذه

$$A_{pl} = \frac{321 - 278}{11 - \frac{2\times 321 - 278}{39.6}} = 23.8 \text{ cm}^2$$

أ ــ باستخدام لوح (شكل ١٢ــ١٤ أ)

العرض الأدنى المطلوب للوح

$$b = \frac{580\times 23.2}{600\times 1.2} = 18.7 \text{ cm}$$

نجرب

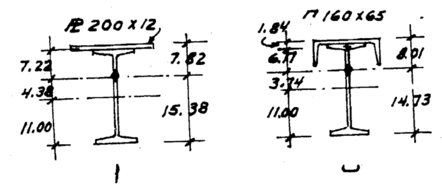
Pl 200 x 12

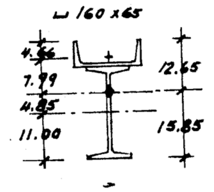
$$A = 39.6 + 24.0 = 63.6 \text{ cm}^2$$

$$e = \frac{24.0\times 11.6}{63.6} = 4.38 \text{ cm}$$

$$I = 3060 + 39.6\times 4.38^2 + 24.0\times 7.22^2 = 5071 \text{ cm}^4$$

$$Z^- = 649 \text{ cm}^3, \quad Z^+ = 330 \text{ cm}^3$$





شكل (١٢ــ١٤)

$f^+ = + \underline{1365}\ kg/cm^2$

$f^- = - 693\ kg/cm^2$ O.K.

ب ـ باستخدام مقطع مجرة على بطنه (شكل ١٢ـ١٤ ب)

[160x65 :

$A = 24.0\ cm^2$, $I_y = 85.3\ cm^4$, $t_w = 0.75\ cm$,

$e = 1.84\ cm$.

$$e = \frac{24.0(11.75-1.84)}{63.6} = 3.74\ cm$$

$$I = 3060+39.6\times3.74^2+85+24.0(9.91-3.74)^2$$

$$= 4613\ cm^4$$

$Z^- = 576\ cm^3$, $Z^+ = 313\ cm^3$

$f^+ = \underline{1438}\ kg/cm^2$

$f^- = -313\ kg/cm^2$

حـ ـ باستخدام مقطع مجرة [160x65 على ظهره (شكل ١٢ـ١٤ حـ)

$$e = \frac{24.0(11.0+1.84)}{63.6} = 4.85\ cm$$

$$I = 3060+39.6\times4.85^2+85+24.0\times7.99^2$$

$$= 5608\ cm^4$$

$Z^- = 443\ cm^3$

$Z^+ = 354\ cm^3$

$f^+ = \underline{1271}\ kg/cm^2$

$f^- = 1016\ kg/cm^2$

مثال (١٢ـ٦) : في المثال (١٢ـ٥) ماذا يكون عنصر التقويـــة إذا كان المقطع المطلوب تقويته S.I.B. 200 ؟

$I_I = 2140\ cm^4,\ Z_I = 214\ cm^3,\ A_I\ 33.5\ cm^2$

$$A_{pl} = \frac{321 - 214}{10 - \frac{2\times321-214}{33.5}} = -38.5\ cm^2$$

وقد أجريت ثلاث محاولات لاختيار لوح، إلا أن جهود الشد فـي أي منها لم تصل إلى الحد المسموح به رغم الزيادة غير المعقولة فـي مساحة اللوح ، كما يتضح من الجدول (١٢ـ٣)

جـدول (١٢ـ٣)

Size mm	A cm^2	f^+ kg/cm^2
200x18	36.0	1679
240x20	48.0	1642
300x24	72.0	1573

وباستخدام مقطع مجرة على ظهره :

[260x90

$I_y = 317\ cm^4,\ e = 2.36\ cm,\ A = 48.3\ cm^2$

$$e = \frac{48.3\times12.36}{81.8} = 7.3\ cm$$

$$I = 2140 + 33.5\times7.3^2 + 317 + 48.3(2.7+2.36)^2 = 5480\ cm^4$$

$$Z^+ = \frac{5480}{17.3} = 317\ cm^3$$

$$f^+ = \frac{450000}{317} = \underline{1420}\ kg/cm^2 \sim 1400\ k/cm^2$$

(يمكـن قبولـه)

شكل (١٢ـ١٥)

ثانيا ـ الكمرة المبنية غير متساوية الشفتين ـ لمقاومة عزم حني منفرد :

لاختيار عناصر مثل هذا المقطع ، يلجأ إلى بعض الفروض نوضحها في الخطوات التالية :

نوضحها في الخطوات التالية :

١ ـ نبدأ بفرض أن المقطع متماثل ونحسب المعايير المطلوب له .

٢ ـ نختار عمق وسمك الجذع، ويفيد في هذا المجال حساب مقطع جاهز للاستئناس بعمقه . ويكون المقطع المبني عادة أكبر عمقا وأقل سمكا .

٣ ـ نفرض أن معايير المقطع للشفتين معا نحو 80% من معايير المقطع الكامل (هذه النسبة أقل من تلك للمقطع المتماثل).

٤ ـ نحسب المساحة المطلوبة للشفتين (لازلنا معتبرين المقطع متماثلا) وتكون هذه المساحة أصغر مما هو مطلوب للمقطع غير المتماثل .

٥ ـ نحدد مقاس شفة الضغط بحيث تقاوم التحنيب الجانبي وكذلك التحنيب الموضعي .

٦ ـ نوفق بين المقاس المحسوب لشفة الضغط وبين المساحة التي قدرت لها مبدئيا في (٤) وذلك بإنقاص المقاس والتضحية ببعض الجهد المسموح به وزيادة المساحة .

٧ ـ ومن أجل ترشيد اختيار الشفة نشير إلي المثال (١٢ـ٥) الذى نلاحظ منه مايلي :

أ ـ أن النسبة بين مساحتي شفتي المقطع المختار هي 1 : 3

ب ـ أن شفة الضغط لم تعمل بكامل مقدرتها حيث الجهد فيها نحو نصف الجهد في شفة الشد مما يوحي بإمكان توزيع المساحة بنسبة أفضل ، ولتكن 1:2 .

جـ ـ ومن حيث أن المعتاد أن تكون مساحة الجذع 40% من مساحة المقطع ، تكون مساحة الشفتين مرة ونصف مساحة الجذع وهذه تقسم بين الضغط والشد بنسبة ٢ : ١ .

ونوضح في المثال التالي هذه الطريقة :

مثال (١٢ـ٧) ـ في المثال (١٢ـ٥) المطلوب اختيار مقطع ملحوم غير متساوي الشفتين •

معاير المقطع متماثلا : $Z_{req} = 321\ cm^3$

نختار الجذع $Pl\ 300 \times 6$

معاير المقطع للوحي الشفة $Z_{pls} = 0.80 \times 321 = 257\ cm^3$

مساحة لوحي الشفة $A_{pls} \simeq \frac{257}{15} = \underline{17.2}\ cm^2$

العرض المطلوب لشفة الضغط ، بفرض استيعاب كل الجهد المسموح به ، واختيار سمك ١٠ مم

$$b_{req} = \frac{580.0 \times 30.0}{600 \times 10} = 29.0\ cm$$

وبذلك تكون المساحة المطلوبة للشفتين :

$$29.0 \times 1.5 = \underline{43.5}\ cm^2$$

وهذه كبيرة جدا بالمقارنة إلى $17.2\ cm^2$

وبتطبيق ماجاء بالفقرة (٧ـ حـ) تكون المساحة، بالمقارنة بالجذع :

$$A_{pl} = 18.0 \times 1.5 = 27.0\ cm^2$$

ولعل هذا الرقم أقرب إلى الصحة لوقوعه بين الرقمين السابقين ، إلا أنه لايمكن اعتباره دقيقا لارتباطه بمساحة الجذع، الذى فرض دون أساس حسابي •

فلنجرب المقطع التالي :

الشفة العليا $Pl\ 220 \times 8 = 17.6\ cm^2$

الشفة السفلى $Pl\ 100 \times 8 = 8.0\ cm^2$

الجذع $Pl\ 300 \times 6 = 18.0\ cm^2$

Pl 220X8
12.41
3.39
19.19
Pl 300X6
Pl 100X8

شكل (١٢ـ١٦)

$$e = \frac{17.6\times15.4-8.0\times15.4}{43.6} = 3.39\ cm$$

$$I = \frac{0.6\times30^3}{12} + 17.6\times15.4^2 + 8.0\times15.4^2$$
$$-43.6\times3.39^2 \qquad = 6920\ cm^4$$

$$Z^+ = \frac{6920}{19.19} = 361\ cm^3$$

$$Z^- = \frac{6920}{12.41} = 558\ cm^3$$

$$f^+ = \frac{450000}{361} = 1247\ kg/cm^2$$

$$f^- = \frac{450000}{12.41} = -806\ kg/cm^2$$

$$\frac{Ld}{bt} = \frac{540.0\times31.6}{22.0\times0.8} = 970$$

$$f_{pB} = \frac{840000}{970} = 866\ kg/cm^2 \qquad O.K.$$

وتعتبر الجهود الفعلية منخفضة وبالتالي يمكن إنقاص المقطع . ففي المقطع :

Pl 220x8 , Pl 100x8 , web 280x6

تكون الجهود :

$f^+ = 1340\ kg/cm^2$

$f^- = -856\ kg/cm^2 \qquad f_{pB} = 925\ kg/cm^2$

ـ يلاحظ الفرق فيما بين المقطع في المثال (١٢ـ٥) : $63.3 cm^2$
والمقطع المبني الأخير : $42.4 cm^2$

حيث يبلغ الوفر 33 % .

كما يلاحظ أن المقطع المدلفن اللازم لهذه الكمرة غير المسنودة يصل الي S.I.B. 320 ، الذى مساحته $77.8\ cm^2$.

مثال (١٢ـ٨) ـ المطلوب اختيار مقطع مبني ملحوم لكمرة بحرها 5.40 m وتحمل حملا موزعا بانتظام قدره 3.0 t/m' ـ الكمرة غير مسنودة .

$$M = \frac{3.0 \times 5.40^2}{8} = 10.935 \text{ tm}$$

معاير المقطع متماثلا (بغض النظر عن استقرار الشفة) :

$$Z = \frac{1093500}{1400} = 781 \text{ cm}^3 \quad (\text{S.I.B. } 320)$$

نختار الجذع PL 400x8

معاير المقطع لِلَوحيّ الشفة $Z_{pls} = 0.8 \times 781 = 625 \text{ cm}^3$

أ ـ مساحة الشفتين $A_{pls} = \frac{625}{20} = \underline{31.5} \text{ cm}^2$

العرض المطلوب للوح الشفة ، بفرض استيعاب كل الجهد المسموح به ، واختيار سمك ١٠ مم

العرض المطلوب للوح شفة الضغط $b = \frac{540 \times 40}{600 \times 1.0} = 36.0 \text{ cm}$

ب ـ وبذلك تكون مساحة الشفتين $36.0 \times 1.5 = \underline{54.0} \text{ cm}^2$

حـ ـ مساحة الشفتين بالنسبة للجذع المختار

$32.0 \times 1.5 = 48.0 \text{ cm}^2$

(لو أخذنا الجذع 400x6 لكانت مساحة الشفتين 36.0 cm^2).

لنجرب المقطع التالي :

الشفة العليا Pl 300x10 ، الشفة السفلى Pl 150x10 وصاحتهما 45.0 cm^2 والجذع Pl400x8 والمساحة الكلية : 77.0 cm^2 .

معاير المقطع $Z^+ = 878 \text{ cm}^2 \quad Z^- = 1291 \text{ cm}^3$

الجهود الفعلية $f^+ = 1245 \text{ kg/cm}^2 < 1400 \text{ kg/cm}^2$

$f^- = 847 \text{ kg/cm}^2 < f_{pB} = 1111 \text{ kg/cm}^2$

أى أنه يمكن إنقاص هذا المقطع .

فإذا اعتبرنا المقطع التالي :

Pl 260x10, Pl 130x10, web 400x8

وفيه مساحة الشفتين $39.0\ cm^2$

تكون الجهود الفعلية $f^+ = 1377\ kg/cm^2 < 1400\ kg/cm^2$

$f^- = 959\ kg/cm^2 < f_{pB} = 963\ kg/cm^2$ O.K.

هذا ولا زال من الممكن أخذ الجذع Pl 400x7 وفي هذه الحالة

تصبح الجهود : $f^+ = 1433\ kg/cm^2 > 1400\ kg/cm^2$

$f^- = 976\ kg/cm^2 > 963\ kg/cm^2$

ويزيد جهد الشد بمقدار % 2.5 وجهد الضغط بمقدار % 1.5

على المسموح به مما يمكن التجاوز عنه ·

ثانيا ــ المقطع المركب لمقاومة عزم حني مزدوج :

المعادلة العامة لحساب الجهود الفعلية في المقطع المركب المعرض لعزم حني مزدوج هي :

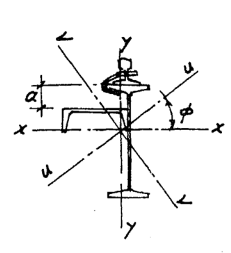
$$f_{act} = \frac{M_x I_y - M_y I_{xy}}{I_x I_y - I^2_{xy}} \cdot y + \frac{M_y I_x - M_x I_{xy}}{I_x I_y - I^2_{xy}} \cdot x \qquad (12-11)$$

وفيها x و y هما إحداثيا نقطة ما من المقطع بالنسبة للمحورين المتعامدين x و y المارين بمركز ثقل المقطع المشترك I_x و I_y عزما العطالة حول نفس المحورين ، I_{xy} مضروب عزمي العطالة بالنسبة للمحورين المذكورين ·

وعند استخدام هذه المعادلة يعتبر أيٌّ من عزمي الحني سالبا إذا أحدث جهود ضغط في الربع الأول بالنسبة لمحوري الإحداثيات وبذلك يكون الجهد في نقطة ما على المقطع ضغطا إذا كانت القيمة المحسوبة من المعادلة سالبة · ويميل المحوران الرئيسيان

المتعامدان u-u، v-v والماران بمركز المقطع المشترك على المحورين المتعامدين x و y المارين بنفس المركز بزاوية Ø تحسب من المعادلة التالية :

$$\tan 2Ø = \frac{2\ I_{xy}}{I_y - I_x} \quad (12-12)$$



شكل (١٢ـ١٧)

وفي المقطع غير المتماثل المعرض لعزم حني منفرد تختصر المعادلة (12-11) إلى :

$$f_{act} = M_x \frac{I_y \cdot y - I_{xy} \cdot x}{I_x I_y - I^2_{xy}} \qquad (12-13)$$

كما تختصر المعادلة (12-11) عندما يكون المقطع متماثلا ولو حول محور واحد (حيث يكون $I_{xy} = 0$) إلى

$$f_{act} = \frac{M_x \cdot y}{I_x} + \frac{M_y \cdot x}{I_y} \qquad (12-14)$$

هذا ويمكن حساب الجهود العمودية الفعلية في المقطع المركب المعرض لعزم حني مزدوج بمعادلة مشابهة للمعادلة (12-14) ولكن ذلك يقتضي حسابات أطول وربما أكثر تعقيدا ، نوضحها فيما يلي :

بعد حساب I_x و I_y و I_{xy} و $\tan 2Ø$ يحسب عزم العطالة حول كل من المحورين الرئيسيين u-u و v-v من المعادلتين التاليتين

$$I_u = I_x \cos^2 Ø + I_y \sin^2 Ø - I_{xy} \sin 2Ø$$

$$I_v = I_x \sin^2 \emptyset + I_y \cos^2 \emptyset + I_{xy} \sin 2\emptyset$$
(12-15)

أو من المعادلتين :

$$I_u = \frac{I_x+I_y}{2} - \frac{I_y-I_x}{2} \cos 2\emptyset - I_{xy} \sin 2\emptyset$$
$$I_v = \frac{I_x+I_y}{2} + \frac{I_y-I_x}{2} \cos 2\emptyset + I_{xy} \sin 2\emptyset$$
(12-16)

وفيهما :

$$\cos 2\emptyset = \frac{1}{\sqrt{1+\tan^2 2\emptyset}}$$
(12-17)
$$\sin 2\emptyset = \frac{\tan 2\emptyset}{\sqrt{1+\tan^2 s\emptyset}}$$

أو من المعادلتين :

$$I_v^u = \frac{I_x+I_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{I_x-I_y}{2}\right)^2 + I_{xy}^2} \qquad (12-18)$$

وعندئذ يحسب الجهد الفعلي في نقطة ما (x و y) من المقطع من المعادلة :

$$f_{act} = \frac{M'_x \cdot y'}{I_u} + \frac{M'_y \cdot x'}{I_v} \qquad (12-19)$$

وفيهما :

$M'_x = M_x \cos \emptyset + M_y \sin \emptyset,$

$M'_y = M_y \cos \emptyset - M_x \sin \emptyset,$

$x' = x \cos \emptyset + y \sin \emptyset,$

$y' = y \cos \emptyset - x \sin \emptyset.$

وتحسب جهود القص في المقطع غير المتماثل المعرض لقوة قص تؤثر في كل من المحورين x — x و y — y من المعادلة :

$$q = \frac{Q_x \; I_y - Q_y \; I_{xy}}{I_x \; I_y - I_{xy}^2} \cdot A \cdot \bar{y}$$

$$+ \frac{Q_y \; I_x - Q_x \; I_{xy}}{I_x \; I_y - I_{xy}^2} \cdot A \cdot \bar{x} \qquad (12\text{-}20)$$

وفي المقطع غير المتماثل المعرض لقوة قص تؤثر في المحور x-x

$$q_x = Q_x \cdot A \; \frac{I_y \cdot \bar{y} - I_{xy} \; \bar{x}}{I_x I_y - I_{xy}^2} \qquad (12\text{-}21)$$

فإذا كان المقطع متماثلا وتؤثر عليه قوة قص في كل من المحورين :

$$q = \frac{Q_x}{I_x} \cdot A \cdot \bar{y} + \frac{Q_y}{I_y} \cdot A \cdot \bar{x} \qquad (12\text{-}22)$$

حيث $\bar{x}$ و $\bar{y}$ في المعادلات الثلاث السابقة هما إحداثيا مركز ثقل الجزء المعتبر من المقطع بالنسبة للمحورين x-x و y-y .

اختيار مقطع مركب معرض لعزم حني مزدوج

أولا ـ المقطع المركب المتماثل :

قد يبدو أن اختيار مثل هذا المقطع متاه في البساطة ، فمادام المقطع مركبا ، ومعرضا لعزمي حني (متعامدين) فإن الطريقة تكون كالآتي :

ـ نختار مقطعا ليقاوم عزم الحني الأول ـ محوره الأكبر في اتجاه ذلك العزم .

ـ نختار مقطعا متعامدا على الأول ليقاوم عزم الحني الثاني فيكون محوره الأكبر في اتجاه ذلك العزم .

فالمنتظر إذاً أن يكون المقطع المركب قادرا على مقاومـــة عـــزم الحني المزدوج .

ـ ثم نحقق الجهود الفعلية في المقطع المركب للتأكد أنهـــا فـــي الحدود المأمونة . من أجل ذلك ندرس المثال التالي .

مثال (١٢ـ٩) ـ المطلوب اختيار مقطع مركب من مقطـــع I عـــادي ومقطع مجرة ليقاوم عزم حني $M_x = 12.65tm$ وعـــزم حنـــي $M_y = 2.10\ tm$ يؤثران في قطاع من كمرة بحرها $5.80\ m$.

أ ـ المقطع الذى يقاوم M_x :

$$Req.\ Z_x = \frac{1{,}265000}{1400} = 904\ cm^3$$

S.I.B 340x137 ($Z_x = 923\ cm^3$):

I_x=15,700 cm^4, I_y=674 cm^4, A=86.8 cm^2,

t_w=1.22 cm

ب ـ المقطع الذى يقاوم M_y :

$$Req.\ Z = \frac{210{,}000}{1400} = 150\ cm^3$$

[180x70 ($Z_x = 150\ cm^3$):

I_x=1350 cm^4, I_y=114 cm^4, A=28.0 cm^2,

t_w=0.8 cm , e_y=1.92 cm

حـ ـ المقطع المشترك (المركب)

$$e = \frac{28.0(17.8-1.92)}{86.8+28.0} = \frac{28.0\times15.88}{114.8}$$

$$= 3.87\ cm$$

$$I_x = 15{,}700+86.8\times3.87^2+114+28.0(15.88-3.87)^2$$

$$= 21{,}153\ cm^4$$

$$I_y = 674 + 1350 = 2024 \ cm^4$$

$$f^-_{max} = \frac{1{,}265{,}000 \times 13.93}{21\,153} - \frac{210{,}000 \times 9.0}{2024}$$

$$= -833 - 934$$

$$= -1767 \ kg/cm^2$$

[180

3.87

13.93

20.87

I 300

شكل (١٢ـ١٨)

$$f^+_{max} = + \frac{1{,}265{,}000 \times 20.87}{21153} + \frac{210{,}000 \times 6.85}{2024} = +1248 + 711$$

$$= +1959 \ kg/cm^2$$

$$\frac{Ld}{bt} = \frac{580 \times 34.8}{18.0 \times 7.0} = 160$$

$$f_{pB} = 1400 \ kg/cm^2$$

فالجهود الحادثة بالمقطع تزيد بنحو ٤٠٪ علي الجهود المسموح بها .

والسؤال هو : كيف يحدث ذلك ؟

وجوابه هو أن كلا المقطعين في المقطع المركب يتعرض لعزم حني في اتجاه محوره الضعيف الذى يسبب فيه جهودا أعلا بكثير من قدرته رغم تعاون المقطع الآخر معه في مقاومة ذلك العزم .

فلما كانت هذه الطريقة لاتؤدى إلى اختيار مقطع مناسب رأينا اقتراح الطريقة التالية . ورغم أنه ليس من تعليل نظرى لهذه الفكرة إلا أنها تقود إلى نتيجة طيبة . ومؤدى هذه الفكرة هو اختيار كل من المقطعين بحيث يحقق شروط السلامة والاستقرار ، نقصد بذلك التحقق من مقاومة الشفة للتحنيب الجانبي والتحنيب الموضعي .

ولنعد الآن إلي المثال السابق •

مثال (١٢ــ١٠) ــ اختيار المقطع المركب الموصوف فـي المثـــال (١٢ــ٩) •

أــ اختيار مقطع I مع تحقيق استقرار شفة الضغط :

بعد محاولة وأخرى نجد أن المقطع S.I.B. 380x149 يحقق ذلك ، حيث :

$$\frac{Ld}{bt} = \frac{580 \times 38.0}{14.9 \times 2.05} = 722$$

$$f_{bB} = \frac{840000}{722} = 1163 \ kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{1265000}{1260} = 1004 \ kg/cm^2$$

ب ــ اختيار مقطع مجرة مع تحقيق استقرار شفة الضغط •هنا نتغاضي عن شرط العمق في الاتجاه الرأسي :

المقطع 240x85] يحقق شرط استقرار شفة الضغط ، حيث :

$$\frac{Ld}{bt} = \frac{580 \times 24.0}{8.5 \times 1.3} = 1260$$

$$f_{pB} = \frac{840000}{1260} = 667 \ kg/cm^2$$

$$f_{act} = \frac{210000}{300} = 700 \ kg/cm^2$$

والآن لنجرب المقطع المركب من

	[240	S.I.B 380
$A \ cm^2$	42.3	107.0
$I_x cm^4$	3600	24,010
$I_y cm^4$	248	975
b cm	14.9	8.5
$t_w cm$	0.95	1.37

⊏240
14.93
5.02
24.02
I380

شكل (١٢ــ١٩)

e cm	2.23	-
Z cm^3	300	1260

$$e = \frac{42.3(19.95-2.23)}{107.0+42.3} = \frac{42.3 \times 17.72}{149.3}$$

$$= 5.02 \text{ cm}$$

$$I_x = 24,010 + 107.0 \times 5.02^2 + 248$$
$$+ 42.3(17.72-5.02)^2 = 33,777 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 975 + 3600 = 4575 \text{ cm}^4$$

$$f^- = - \frac{1,265,000 \times 14.93}{33,777} - \frac{210,000 \times 12.0}{4,575}$$

$$= -559 - 551 = -1110 \text{ kg/cm}^2$$

$$f^+ = + \frac{1,265,000 \times 24.02}{33,777} + \frac{210,000 \times 7.45}{4,575}$$

$$= +900 + 342 = +1242 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{Ld}{bt} = \frac{580.0 \times 34.95}{24.0 \times 8.5} = 99 << 600$$

$$f_{pB} = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

يلاحظ أن الجهد في المقطع أقل من المسموح به وربما كان هـــذا ناشئا عن أن بالمقطعين السابق اختيارهما مقدرة تزيد علي المطلوبة وخاصة بالنسبة للمقطع I ، وبذلك يمكن إنقاص أيٍّ من عنصري المقطع المشترك ذى المساحة 149.3 cm^2 :

أ ـ فإذا أنقصنا المقطع I إلي S.I.B 360 كانت مساحة المقطع المركب 139.4 cm^2 وكانت الجهود القصوى :

$$f^- = 1195 \text{ kg/cm}^2$$
$$f^+ = 1379 \text{ kg/cm}^2$$

ب ــ وإذا أنقصنا المقطع المجرة إلى 220] كانت مساحة المقطع المركب $144.4\ cm^2$ وكانت الجهود القصوى :

$$f^- = 1241\ kg/cm^2$$

$$f^+ = 1333\ kg/cm^2$$

وكلا المقطعين المركبين يمكن استخدامه مع ملاحظة أن الأول منهما أوفر قليلا (% 3.5) وجساءته في الاتجاه الأفقي أكثر قليلا (% 5.9) ولكن جساءته في الاتجاه الرأسي أقل كثيرا (% 14.2) • ويتوقف اختيار أيٍّ من المقطعين على وضع العضو في المنشأ •

الطريقة الحسابية لاختيار مقطع مركب معرض لعزم حني مزدوج

أولا ــ المقطع المتماثل حول أحد المحورين :

هنا نشير الى المبحثين التاليين :

الأول ــ أن ثمة علاقة ــ تقريبية ــ بين معايرى مقطع حول محوريه كما في المعادلة (4-12) :

$$Z_x = K\ Z_y \qquad (12-4)$$

الثاني : أنه يمكن حساب مساحة عنصر تقوية غير متماثل لمقطع I من المعادلة (10-12) :

$$A_{pl} = \frac{Z_{req} - Z_I}{\frac{h}{2} - \frac{2\ Z_{req} - Z_I}{A_I}} \qquad (12-10)$$

ولما كانت المعادلة الأولى تحوى معاملا فرضيا واسع المجال هو (K) لايمكن التكهن بقيمته الفعلية مسبقا ، وكانت المعادلة الثانية قد شاب استنتاجها بعض التقريب ، إضافة إلى أنها قد استنتجت لمقطع معرض لعزم حني منفرد ، فإنه من المنتظر أن نلجأ إلى أكثر من محاولة للحصول على المقطع المطلوب •

ونبدأ العمل بفرض قيمة للمعامل (K) ثم نحسب من المعادلة (12-5) المعاير الافتراضي Z_x للمقطع I المعرض لعزم حني مزدوج .

$$Req.\ Z_x = \frac{M_x + K M_y}{f_{pt}} \qquad (12-5)$$

ولما كان المقطع I (العادي) في المقطع المركب أقل مقدرة من هذا الذى تعطيه المعادلة (12-5) فإننا نختار للمقطع المركب مقطع I معايره أصغر .

ثم نستعمل المعادلة (12-10) في إيجاد مساحة العنصر الثاني للمقطع المركب والذي سنعتبره عنصر تقوية غير متماثل للمقطع I المختار .

ونختار العنصر الثاني موفيا شرط المساحة ، ثم نحقق الجهود في المقطع المركب ، وتعاد الحسابات بتعديل أيٍّ من المقطعين المختارين للحصول على نتيجة مقبولة .

والآن نعيد حل المثال (١٢ــ٨) بهذه الطريقة مع دراسة العوامل التي تؤثر على اختيار المقاطع .

مثال (١٢ــ١١) ــ المطلوب اختيار المقطع المركب الموصوف في المثال (١٢ــ٨) .

لاختيار المعامل (K) ، نلاحظ أن المقطع المركب أقرب إلى المقطع I عريض الشفة منه إلى المقطع I العادي وبذلك نختار K=4 ومنها نحصل على المعاير الافتراضي للمقطع المشترك :

$$Req.\ Z_x = \frac{1,265,000 + 4 \times 210,000}{1400} = 1504\ cm^3$$

لنجرب S.I.B. 380:

$$Z_I = 1260\ cm^3, \quad A_I = 107.0\ cm^2$$

والمساحة المطلوبة للعنصر الثاني :

$$A_{pl} = \frac{1504 - 1260}{19.0 - \frac{3008-1260}{107}} = 90.3 \text{ cm}^2$$

وبذلك تكون المساحة الكلية 197.3 cm^2

ولنجـرب S.I.B. 400:

$$Z_I = 1460 \text{ cm}^3 \;, \quad A_I = 118.0 \text{ cm}^2$$

والمساحة المطلوبة للعنصر الثاني :

$$A_{pl} = \frac{1504 - 1460}{20.0 - \frac{3008-1460}{118}} = 6.3 \text{ cm}^2$$

وبذلك تكون المساحة الكلية 124.3 cm^2

توضح هاتان المحاولتان أنه إضافةً إلى أن اختيـار المقطـع المركب يتوقف على قيمة (K) فإن اختيار عنصرى المقطـع يتأثـر بالمقطع I المختار ٠

وقد يبدو في هذا المثال أن كلا الاختيارين غير موفق فإن الفـرق كبيرفي المساحة المطلوبة للعنصر الثاني وبالتالي للمقطع المركب ٠

ولزيادة الإيضاح أجريت محاولات أخرى أدرجت نتيجتهـا فـي الجدول (١٢ـ٤) الذى يبين تغير المساحة المطلوبة لعنصر التقويـة تبعا لتغير كل من قيمة K والمقطع I المختار ـ عن طريق المعادلـة (12-10).

جدول (١٢-٤)

اختيار عنصري مقطع مركب

رقم	المعامل	المساحة المطلوبة لعنصر التقوية مع I 360	I 380	I 400	مساحة المقطع المركب من I 360	I 380	I 400
أ	2.0	(٤) 26.0			123.1	(٣)	
ب	2.5	(٧) 65.2	(٤) 2.8	(٢)	162.3	109.8	(٣)
جـ	3.0	(٥) 880.0	(٤) 17.0		977.1	124.0	
د	3.5		(٧) 41.0		-	147.0	
هـ	4.0	(١)	(٦) 90.3	(٤) 6.3	-	197.3	124.3
و	4.5		(٥) 245.0	(٤) 21.3	-	252.0	139.3
ز	5.0		(١)	(٦) 45.0	-	-	163.0
ح	6.0			(٥) 180.0	-	-	298.0
Min [	Size Weight	[200 32.2	[200 32.2	[220 37.4			

(١) القيمة سالبة ــ تعني أن المقطع I غير صالح ٠

(٢) القيمة سالبة ــ ناشئة عن أن $Z_{req} > Z_I$ أي أن المقطع I أكبر مما يلزم ولكن (K) هنا لاتناسب المقطع I العادي ٠

(٣) المقطع المناسب هنا هو المقطع I عريض الشفة ٠ ويلزمنا B.F.I280 ومساحته $144.0\ cm^2$

(٤) يراعى في اختيار المقطع المجرة أن يكون العمق الداخلي للجذع أكبر من عرض شفة المقطع I ٠ وعلى هذا فإن هذه المساحة غير كافية ٠

(٥) هذه القيمة غاية في الكبر فهي غير معقولة ٠

(٦) هذه القيمة غير مقبولة بالمقارنة بنظيرتها للمقطع I الأصغر ٠

(٧) من هذه الملاحظات يتبين أنه قد أمكن حصر المقطع المركب في أحد التجمعين التاليين :

ــ المقطع رقم ب : 300 [+360 I ومساحته $155.9 cm^2$

ــ المقطع رقم د : 240 [+ 380 I ومساحته $149.3 cm^2$

ومن هنا نبدأ في تحقيق الجهود في أيٍّ منهما ، وتعاد الحسابات للحصول على المقطع الملائم من وجهة الجهود و/أو من الوجهة الاقتصادية ٠

وقد سبق وتبين من المثال (١٢ــ١٠) أن المقطع المطلوب هو أحد الاختيارين 240] + 360 I أو 220 [+ 380 I ٠

ثانيا ــ المقطع المركب غير المتماثل :

يشيع استعمال المقطع غير المتماثل المكون من مقطع I (غالبا العادي) ومقطع مجرة لكمرة المرفاع العلوي السيار (Overhead travelling crane) ،حيث تتعرض تلك الكمرة لقوى أفقية جانبية مصاحبة للأحمال الرأسية ٠ وتؤثر القوى الأفقية في النقط نفسها التي تؤثر فيها الأحمال الرأسية ، وبذلك يحدث عزم الحني الأقصى الناشئ عن كلٍّ من الأحمال الرأسية والقوى الأفقية في مقطع

واحد من الكمرة ٠
وغالبا مايثبّت القضيب الذي يسير عليه المرفاع عن طريق مسامير سنارة لايقل قطرها عن ٢٠ مم ، توضع مترنحة، حول شفة المقطع I حتى يمكن ضبط استقامة القضيب استقامة تامة ، ومن هنا جاء غضيل المقطع غير المتماثل على المقطع المتماثل الذى يتطلب مسامير أطول وأكثر تعقيدا (شكل ١٢ــ٢٠) ٠

شكل (١٢ــ٢٠)

ويلحق المقطع المجرة الذى يركب على بطنه عموديا على المقطع I ، أقرب مايمكن إلى شفته العليا وبحيث يسمح بتركيب تلك المسامير ٠ وبذلك تتوقف المسافة (a) على سمك شفة المقطع I ٠ وقطر المسمار السنارة ٠ وتحديد هذه المسافة مسبقا ضرورى لحساب خصائص المقطع المركب ٠

وللمقطع المجرة أغراض ثلاثة :

أ ــ مقاومة القوى الأفقية الجانبية التي تتعرض لها الكمرة ٠

ب ــ زيادة عرض شفة الضغط بحيث يصبح المقطع المركب أكثر مقدرة على مقاومة التحنيب الجانبي للكمرة ٠

حـ ــ سهولة ربط الكمرة جانبيا بالعمود الحامل لنقل القوى الأفقية الجانبية إليه (شكل ١٢ــ٢١) ٠

ولاختيار مقطع مركب غير متماثل لمقاومة عزم حني مزدوج تستخدم الطريقة نفسها التي اختير بها المقطع المركب المتماثل ٠ إلا أن تحقيق الجهود هنا يقتضي حسابات أكثر طولا ، سواء لإيجاد خصائص المقطع

المركب أم لحساب الجهـــد الفعلي حيث نستعمل لذلك المعادلة (12-11) •

وهنا تجدر الإشارة إلى النقاط الآتية :

ـ أن المحورين الرئيسيين للمقطع المركب غير المتماثل يميلان على المحاور الرئيسية للعناصر التي يتكون منها المقطع (المعادلة 12-12) •

ـ أنه لما كانت معادلة حساب الجهد الفعلي (12-11) تحوي حدين يشتمل كل منهما على العزمين المؤثرين M_x و M_y ، ولما كان من المعتاد أن تكون إشارة أحد العزمين منعكسة (على الأغلب M_y)، كان من اللازم مراعاة إشارة كل من العزمين عند استعمال المعادلة المشار إليها • وقد سبق أن أوضحنا أن إشارة العزم تعتبر سالبة إذا أحدثت جهود ضغط في جزء المقطع الواقع في الربع الأول من الإحداثيات الأصلية •

شكل (١٢ـ٢١)

مثال (١٢ـ١٢) • المطلوب اختيار مقطع مركب من مقطع I عادي يجاوره من أعلاه مقطع مجرة على بطنه،للكمرة ليقاوم عزم حني $M_x = 12.65$ tm وعزم حني منعكس $M_y = 2.10$ tm يؤثران في مقطع واحد من كمرة بحرها 5.80 m •

هذه هي نفس المسألة في المثال (١٢ـ١١)،وبذلك يكون عنصرا

المقطع اللازمين هما نفسهما اللذين سبق اختيارهما • والآن نتحقق من الجهود الفعلية في المقطع الجديد •

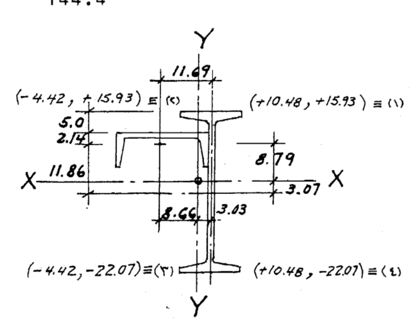
أ ـ خصائص المقطع :

	[220	I 380
$A\ (cm^2)$	37.4	107.0
$I_x (cm^4)$	2690	24,010
$I_y (cm^4)$	197	975
$t_w (cm)$		1.37
$e_y (cm)$	2.14	

$$\sum A = 144.4\ cm^2$$

$$e_v = \frac{37.4 \times 11.86}{144.4} = 3.07\ cm$$

$$e_h = \frac{37.4 \times 11.69}{144.4} = 3.03\ cm$$



شكل (١٢ـ٢٢)

$$I_x = 24{,}010 + 107.0 \times 3.07^2 + 197 + 37.4 \times 8.79^2$$
$$= 28{,}105 \ cm^4$$

$$I_y = 975 + 107.0 \times 3.03^2 + 2690 + 37.4 \times 8.66^2$$
$$= 7448 \ cm^4$$

$$I_{xy} = 107.0 \times -3.07 \times 3.03 + 37.4 \times 8.79 \times -8.66$$
$$= -3845 \ cm^4$$

ميل المحور الرئيسي ، من المعادلة (12-12) :

$$\tan 2\alpha = \frac{2I_{xy}}{I_y - I_x} \qquad (12\text{-}12)$$

$$= \frac{2 \times -3845}{7448 - 28{,}105} = \frac{-7690}{-20{,}657}$$
$$= .373$$

$2\alpha = 20.5^{\circ} \qquad \alpha = 10^{\circ}\ 15'$

ب ـ تحقيق الجهود باستخدام المعادلة (12-11) :

$$f_{act} = \frac{M_x I_y - M_y I_{xy}}{I_x I_y - I^2_{xy}} \cdot y + \frac{M_y I_x - M_x I_{xy}}{I_x I_y - I^2_{xy}} \cdot x \qquad (12\text{-}11)$$

الحالة الأولى ـ العزم M_x سالب والعزم M_y موجب :

$$f_{act} = \frac{-1{,}265{,}000 \times 7{,}448 - 210{,}000 \times -3{,}845}{28{,}105 \times 7.448 - (-3{,}845)^2} \cdot y$$
$$+ \frac{210{,}000 \times 28{,}105 - (-1{,}265{,}000)(-3845)}{28{,}105 \times 7.448 - (-3{,}845)^2} \cdot x$$

$$f_{act} = -44.28\ y + 5.34\ x \qquad (a)$$

معادلة المحور المحايد، نحصل عليها بمساواة المعادلة (a) بالصفر:

$$y = 0.12\,x \qquad (b)$$

(هذه المعادلة ضرورية لتحديد ميل المحور المحايد ، ومنه تعرف النقط الحرجة في المقطع) ٠

الجهود الفعلية القصوى عند النقطتين (٢) ، (٤) وإحداثياتهما : (y ، x)

$$(+15.93 \,،\, -4.42) \qquad (٢)$$

$$(-22.07 \,،\, +10.48) \qquad (٤)$$

$$f_2 = -44.28 \times 15.93 + 5.34 \times -4.42$$
$$= -705 - 24 = -729 \ kg/cm^2$$

$$f_4 = -44.28 \times -22.07 + 5.34 \times 10.48$$
$$= 977 + 56 = +1033 \ kg/cm^2$$

الحالة الثانية ـ العزم M_x سالب والعزم M_y سالب :

$$f_{act} = \frac{(-1,265,000)(7,448)-(-210,000)(-3845)}{28,105 \times 7448-(-3,845)^2} \cdot y + \frac{(-210,000)(28,105)-(-1,265,000)(-3845)}{28,105 \times 7448-(-3,845)^2} \cdot$$

$$f_{act} = -52,28\,y - 55.34\,x \qquad (c)$$

معادلة المحور المحايد :

$$y = -1.05\,x$$

الجهود الفعلية القصوى عند النقطتين (١) ، (٣) وإحداثياتهما : (y,x)

$$(+15,93 \,,\, +10.48) \qquad (١)$$

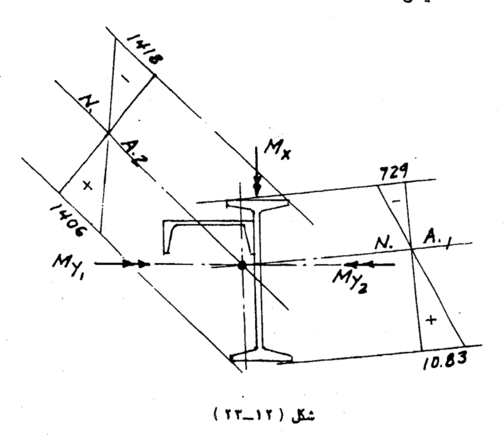
$$(-22.07 \,,\, -4.42) \qquad (٣)$$

$$f_1 = -52.28 \times 15.93 - 55.34 \times 10.48$$
$$= -838 - 580 = -1418 \ kg/cm^2$$

$$f_3 = -52.28 \times -22.07 - 55.34 \times -4.42$$
$$= +1161 + 245 = +1406 \ kg/cm^2$$

(فهاتان القيمتان يمكن قبولهما) .

ويوضح شكل (١٢ـ٢٣) الجهود الفعلية في المقطع في كلتي الحالتين .



شكل (١٢ـ٢٣)

حـ ـ مقارنة الجهود في المقطع غير المتماثل بنظيرتها في المقطع المتماثل

I380

⌐220

($A=144.4cm^2$)

أ ب

	(أ)	(ب)
I_x (cm^4)	32,948	28,105
I_y (cm^4)	2,690	7,448
f^- (kg/cm^2)	$\begin{matrix}-611\\-630\end{matrix} = -1241$	$\begin{matrix}-838\\-580\end{matrix} = -1418$
f^+ (kg/cm^2)	$\begin{matrix}+906\\+427\end{matrix} = +1333$	$\begin{matrix}+1161\\+245\end{matrix} = +1406$

ـ الواضح من شكل المقطعين ومن قيم عزوم العطالة لكل منهما أن (أ) أكثر جساءة في الاتجاه الرأسي وأن (ب) أكثر جساءة في الاتجاه الأفقي . وقد ظهر أثر هذا في قيم الجهود الناشئة عن M_x و M_y

ـ إن المقطع (أ) أكثر قدرة من المقطع (ب) ، إلا أن الأخير مفضل من الوجهة العملية ، كما سبق أن أوضحنا في مقدمة هذا المثال .

اختيار مقطع ملحوم على شكل I ، غير متماثل :

خطوات العمل هنا هي نفسها التي اتبعناها لاختيار المقطع المركب غير المتماثل ، مع بعض ما يقتضيه اختيار مقطع مبني من نقاط إضافية .

أ ـ نحسب المعاير الافتراضي للمقطع من المعادلة (5-12) :

$$Z_{req} = \frac{Z_x + K\ Z_y}{f_{pt}} \qquad (12-5)$$

ب ـ نختار مقطعا بصفة مبدئية بحيث يكون متماثلا وعلى شكل I ، ويكون معايره أقل مما حسب من المعادلة (5-12) بما هو بين ٥٪ و ١٠٪ . وهناك مجال واسع للاختيار ، الذى يبدأ بعمق الجذع ، ويحسب سمكه بحيث يفي بشرط الاستقرار ، وتختار الشفتان بحيث يكون معاير مقطعهما نحو ٧٥٪ من معاير المقطع المحسوب . ومنه ومن عمق الجذع تحسب مساحة الشفتين .

حـ ـ تحسب المساحة الإضافية لشفة الضغط باعتبارها عقوية للمقطع المحسوب في (ب) من المعادلة (12-10) • ويختار عرض الشفة وسمكها بحيث يراعى استقرارها •

د ـ تحقق الجهود في المقطع المختار •

مثال (١٢ـ١٣) ـ المطلوب اختيار مقطع مبني ملحوم على شكل I للكمرة في المثال (١٢ـ٩) ، التي بحرها 5.80m ويؤثر عليها عزم حني $M_x = 12.65$ tm يصاحبه عزم حني $M_y = 2.10$ tm .

أ ـ نختار النسبة بين معايرى مقطع الكمرة :

$$K = 4$$

ب ـ المعاير Z_x المطلوب للمقطع باعتباره متماثلا :

$$Z_{req} = \frac{12650 + 4 \times 210}{1400} \times 100 = 1350 \text{ cm}^3$$

حـ ـ المقطع المبدئـي :

معاير المقطع لِلَوحيّ الشفة :

$$Z' = 0.75 \times 1350 = 994 \text{ cm}^3$$

نأخـــذ : $t_w = 10$ mm , $h_w = 40$ cm

مساحة لوح الشفة $A_{pl} \sim \frac{994}{2 \times 20} = 24.8 \text{ cm}^2$

نختار اللوح 180x14 ومساحته $A_{pl} = 25.2 \text{ cm}^2$

المساحة الكلية للمقطع

$$40.0 \times 1.0 + 2 \times 25.2 = 90.4 \text{ cm}^2$$

$$I_I = \frac{1.0 \times 40.0^3}{12} + 2 \times 25.2 \times 20.7^2 = 20,930 \text{ cm}^4$$

$$Z_I = \frac{20,930}{21.5} = 1258 \text{ cm}^3$$

د ــ المقطع غير المتماثل :

مساحة "لوح التقوية" من المعادلة (10-12)

$$A_{pl} \simeq \frac{1325 - 1258}{21.6 - \frac{2650-1258}{90.4}} = 10.8\ cm^2$$

مساحة شفة الضغط : $A^{c}_{pl} = 25.2 + 10.8 = 36.0\ cm^2$

لدراسة ارتباط مقاس لوح الضغط بالجهد المسموح بمفي ذلك اللوح :

لو أخذنا شفة الضغط 260x14 ومساحتها $36.4\ cm^2$ ، فإن

$$\frac{Ld}{bt} = \frac{580 \times 42.8}{26.0 \times 1.4} = 677$$

$$f_pb = \frac{840000}{677} = 1240\ kg/cm^2$$

أي أن المقطع غير كاف .

إذاً فلنختر عرضا يحقق الجهد الأقصى المسموح به :

$$b_{min} = \frac{580 \times 42.8}{600 \times 1.4} = 30.0\ cm$$

نختار اللوح 300x14 (السمك يحقق شرط الاستقرار :

$$\left(\frac{15}{1.4} < 15 \right.$$

وبذلك يكون المقطع مكونا من :

الجذع	$40.0 \times 1.0 = 40.0\ cm^2$
الشفة العليا	$30.0 \times 1.4 = 42.0\ cm^2$
الشفة السفلى	$18.0 \times 1.4 = 25.2\ cm^2$
المساحة الكلية	$107.4\ cm^2$

$$e = \frac{(42.0 - 25.2) \times 20.7}{107.4} = 3.24\ cm$$

$$I_x = \frac{1.0 \times 40.0^3}{12} + (42.0+25.2) \times 20.7^2 - 107.4 \times 3.24^2 = 33,000\ cm^4$$

$$I_y = \frac{1.4 \times 30.0^3}{12} + \frac{1.4 \times 18.0^3}{12} = 4,217 \ cm^4$$

$$f_{act} = \frac{-1,265,000}{33,000} \cdot y + \frac{-210,000}{4217} \cdot x$$

$$= -38.33 \ y \ - \ 49.8 \ x$$

معادلةالمحور المحايد ٠ (b) $y = -1.3 \ x$

يلاحظ هنا أننا اعتبرنا M_y سالبة ، فإذا اعتبرناهـا موجبة أصبحت معادلة المحور المحايد $y = 1.3x$ ٠ ففـي الحالة الأولى يكون الجهـد الأقصى عند النقطتين (١) و (٣) وفي الحالة الثانيـة يكون عند النقطتيـن (٢) و (٤) (شكل ١٢ــ٢٤)،ويكـون له القيم نفسها ٠

شكل (١٢ــ٢٤)

جهد الضغط الأقصى عند النقطة (١) وإحداثياتهـا (18.16،15.0)

$$f^- = -38.33 \times 18.16 - 49.5 \times 15.0$$

$$= -696 \ - \ 747 \ = \underline{-1443} \ kg/cm^2$$

جهد الشد الأقصيعند النقطة (٣) وإحداثياتها (-24.64 ، -9.0)

$$f^+ = (-38.33)(-24.64) - (747)(-9.0)$$

$$= +934 \ + \ 448 \ = \ +1382 \ kg/cm^2$$

يزيد جهد الضغط هنا بنحو 3% عن الجهد المسموح بـه، فإذا رؤي عدم التجاوزعن هذه الزيادة فإنه يمكن خفض هذا الجهد بزيادة شفة

الضغط،فإذا زيد عرض الشفة إلى 32.0cm أصبحت مساحة المقطع $110.0\ cm^2$ وأصبحت الجهود كما يلي :

$$f^-_{max} = -1329\ kg/cm^2$$

$$f^+_{max} = +1297\ kg/cm^2$$

أي أنه بزيادة المادة بنحو 2.4% نحقق خفضا في الجهد الفعلي بنحو 8% .

الفصل الثالث عشر

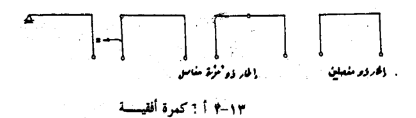
الإطـارات الجســيئة (Rigid Frames)

١٣-١ : الإطار الجسيء تركيب إنشائي مكون من أعمدة وكمرات حيث تتصل الكمرات بالأعمدة اتصالاً جسيئاً لا يسمح بأن تتغير الزاوية بين تلك الأعضاء عند نقط الاتصال بمعنى أن محاور الأعضاء المتقابلة تظل مماسة لتلك المحاور بعد حدوث التشوهات بها . ويقتضي هذا أن تنتقل عند نقط الاتصال عزوم الحني وغيرها من مسببات الجهد من الكمرات إلى الأعمدة و/أو من الأعمدة إلى الكمرات .

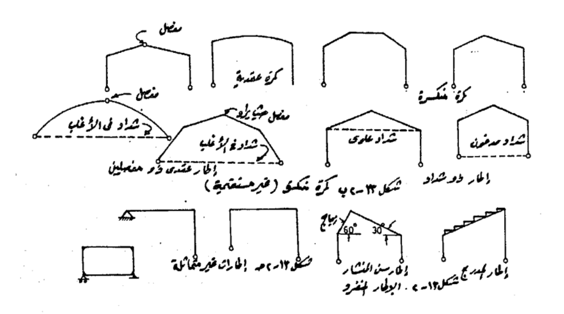
١٣-٢ : وليس من إطار إلا وهو غير محدد استاتيكياً ، مالم يحتو في داخله على مفاصل بعدد مرات عدم التحديد .

شكل ١٣-١

فالإطار المنفرد ذو المفصلين (Single 2-hinged frame) وهو أكثر الإطارات شيوعاً وأبسطها حساباً وإنشاء ، هو غير محدد مرة واحدة . فإذا أضيف مفصل داخلي أصبح إطاراً ذا ثلاثة مفاصل ، وهو محدد استاتيكياً .



١٣-٢ أ : كمرة أفقيـــة



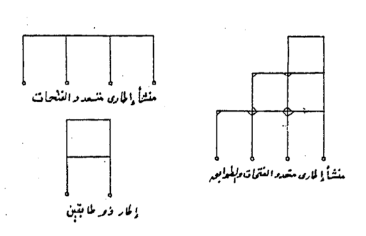
شكل ١٣ ــ ٢

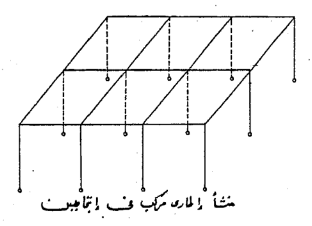
والإطار ذو الكمرة الأفقية قليل الاستعمال إذ أنه لاعتبارات عملية مثل تصريف مياه الأمطار أو لاعتبارات معمارية يغلب أن يكون الوتر العلوي للكمرة منكسراً في نقطة أو أكثر ، أو يكون الوتر العلوي مقوساً ، على هيئة عقد . كما قد تكون كمرة الإطار غير أفقية أو لا تكون قاعدتا العمودين على خط أفقي ، وعندئذ لا يتماثل العمودان .

وقد تصل فتحة الإطار إلى ٦٠ متراً أو تزيد عندما يُطلب أن تكون المساحة المغطاة خالية من الأعمدة .

١٣-٣ : الإطارات المركبة :

قد تتعدد فتحات الإطار (Multi-span frame) وتكون لكمراته استمرارية سواء أكانت مستقيمة أم منكسرة . كما قد تتعدد طوابق و/أو فتحات الإطار (Multi-storey frame) .





شكل ١٣-٣

ولا يشترط في الإطارات المركبة أن تتساوى فتحات الإطارات أو تتساوى ارتفاعات الطوابق . والمنتظر أنه كلما تعددت الفتحات أو تعددت الطوابق كلما اقتضى ذلك زيادة غير متناسبة في الحسابات الاستاتيكية . وقد سهّلت طرق حسابية مثل توزيع العزوم (Moment Distribution) ومناظرة الأعمدة (Column Analogy) من هذه الحسابات .

وتأتي في النهاية الحاسبات الألكترونية التي قد بذّت كل هذه الطرق وأصبح حل الإطارات المركبة من السهولة بمكان . كما وأن استخدام التحليل اللدن للمنشآت يقلل الحسابات الاستاتيكية بدرجة كبيرة (إضافة إلى الوفر الذي قد يحدث في مادة الإطار) .

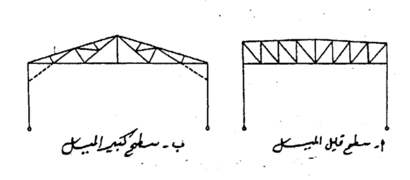
١٣-٤ : يمكن تقسيم الإطارات « الجسيئة » إلى طرازين :

١ ــ طراز الإطار شبه الموثوق :

وفيه تكون الكمرة عبارة عن جمالون يحمله عمودان ، ويمكن تمييز حالتين لهذا الطراز :

(أ) أن يكون الجمالون من الطراز المتوازي الوترين وعندئذ يمتد العمود ليحل محل القائم الأول في الجمالون (شكل ١٣-٤ أ) .

(ب) أن يكون الوتر العلوي للجمالون كبير الميل (طراز Fink مثلاً) وأن يتقابل الوتران عند العمود . ويفضل في هذا الطراز أن تزود كل من نهايتي الجمالون برُكبة (Knee) تجعل من الوصلة بين العمود والجمالون وصلة جسيئة إضافة إلى أنها تساعد على تقليل العزوم على العمود (شكل ١٣-٤ ب) .

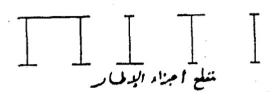


شكل ١٣-٤ الإطار شبه الموثوق

٢ - طراز الإطـــار :

وفيه قطاع كل من الكمرة والعمودين الحاملين لها من نفس النظام مع استمرار المقطع عند تقابل الكمرة والعمودين ، ومن هذا الطراز صنفان :

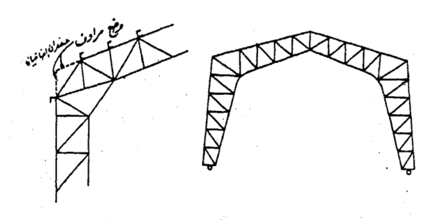
(أ) صنف فيه مقطع كل من الكمرة والعمودين على شكل I ، إما جاهزاً وإما مبنياً ، وحيد الجذع أو مزدوج الجذع ، ويستخدم اللحام في وصل أجزاء الكمرة ، إلا عند لأمات الموقع حيث تركب بمسامير قلاووظ محكمة . والأول منها أثقل في المادة لمستعملة ولكنه أقل في تكلفة التشغيل .



شكا ١٣-٥

والمعتاد أن تكون الكمرة منكسرة في نقطة أو أكثر وأن تكون متوازية الشفتين . ونظراً لقلة تكلفة تشغيل الصلب وتركيبه في هذا الطراز فقد عم استخدامه في المباني الصناعية وخاصة المباني ذات الصناعات الخفيفة أو المخازن .

(ب) صنف فيه كل من الكمرة والعمودين من النظام الشبكي (شكل ١٣-٦) .



شكل ١٣ ـــ ٦ الإطار الشبكى

وقد أنشئت على مثل هذا الطراز سقيفة محطة سكة الحديد بكل من القاهرة والإسكندرية ، والإطار فيها ثلاثي المفاصل وعناصره موصولة بالبراشيم وسقيفة محطة السد العالي ، والإطار فيها ذو مفصلين وعناصره من الطراز الملحوم . (فتحة كل من هذه الإطارات ٣٠ متراً وتباعدها ١٠ أمتار) .

وفي المباني الصناعية يكثر أن يكون الوتر السفلي أفقياً حيث يعلق منه مرفاع أو أكثر وحيد القضيب ، كما قد تتسع الفراغات في الجمالون لمرور أنابيب المواد أو مجاري تكييف الهواء .

وقد تحمل الأعمدة أوناشاً علوية سيارة (Overhead travelling cranes) . ويسير الونش على كمرتي ونش ترتكز كل منهما على كابولات تحملها أعمدة الإطارات أو ترتكز على أعمدة إضافية تتصل بأعمدة الإطارات وتصبح عنصراً من عناصر الإطارات .

١٣-٥ : لارتكاز العمود على قاعدته ثلاث حالات :

١٣-٥-١ : القاعدة المفصلية (Hinged base) :

وتنتقل عن طريقها الأحمال والقوى الرأسية والأفقية إلى الأساس (القاعدة الخرسانية) . ولا ينتقل إلى القاعدة عزم حنى وإذا كانت قاعدة كل من عمودي الإطار مفصلية سُمى إطاراً ذا مفصلين (Two-hinged Frame) وإذا زوّد ذلك الإطار بمفصل داخلي في الكمرة سمى الإطار ثلاثي المفاصل (Tree-hinged Frame) والأغلب أن يكون المفصل الثالث في منتصف الكمرة أو عند انكسارها .

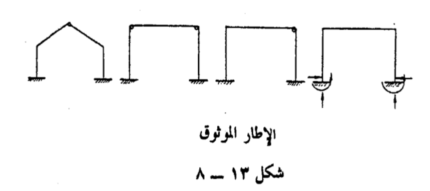


شكل ١٣ ــ ٧ الإطار ثلاثى المفاصل

والإطار ذو المفصلين غير محدد استاتيكيا مرة واحدة أما ثلاثي المفاصل فهو محدد استاتيكياً ، وفي كل من الحالتين تتعرض القاعدة لقوة رفس أفقية .

١٣-٥-٢ : القاعدة الموثوقة (Fixed base) :

إذا ثبتت قاعدة كل من العمودين أي إذا منعت من الدوران سمي الإطار موثوقاً (Fixed frame) . وهذا الإطار غير محدد استاتيكياً ثلاث مرات وقد يزود الإطار الموثوق بمفصل عند اتصال الكمرة بالعمود أو عند انكسارها مما يقلل من الحسابات الاستاتيكية .



الإطار الموثوق

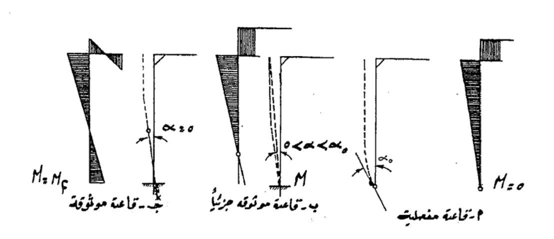
شكل ١٣ ــ ٨

وتتعرض القاعدة الموثوقة لعزم حني ، إضافة إلى الأحمال والقوى الرأسية وإلى القوى الأفقية وإلى غيرها من مسببات الجهد ، مثل عزوم الحني الخارجية والتغيرات الحرارية وانكماش الخرسانة .

وليس من المتيسر أن تكون قاعدة العمود موثوقة تماماً فهي عرضة للدوران عند مرتكزها على الأساس الخرساني ؛ وهي عرضة للدوران بسبب دوران الأساس الخرساني عند مرتكزة على التربة . وبسبب هذا الدوران لا ينشأ عند قاعدة العمود عزم الحني المحسوب بوصفها قاعدة موثوقة ومن هنا جاء تعبير القاعدة الموثوقة جزئياً .

١٣–٥–٣ : القاعدة الموثوقة جزئياً (Partially-Fixed base)

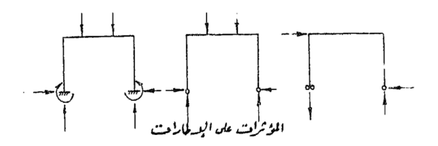
يمكن تعريف القاعدة الموثوقة جزئياً بأنها القاعدة التي لا يتيسر فيها التثبيت الكامل بسبب ظروف ارتكازها على الأساس الخرساني وظروف ارتكاز الأساس الخرساني على التربة . وهنا يحدث بها أو بمرتكز العمود دوران يقلل من مقدار عزم التثبيت (شكل ١٣ ــ ٩)



شكل ١٣ ــ ٩ قواعد أعمدة الإطارات

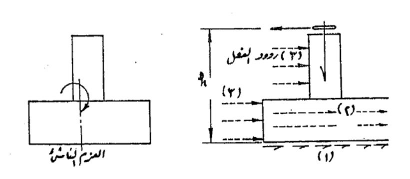
١٣–٥–٣ أ . وليس من اليسير حساب تأثير كل من العوامل التي تسبب دوران القاعدة على الحسابات الاستاتيكية للإطار . فبعض هذه العوامل ينشأ عند القاعدة نفسها وأكثرها ينشأ عند مرتكز الأساس على التربة ، والمتغيرات فيها كثيرة .

١٣–٥–٣ ب : ومن القوى الأساسية التي تتعرض لها القاعدة ، القوة الأفقية . وتشترك جميع الإطارات . أياً كانت طبيعة مرتكزاتها في أن قواعدها تتعرض لقوى أفقية غير هيّنة ، إضافة إلى الأحمال والقوى الرأسية و (عزوم الحني) .



شكل ١٣ ــ ١٠ المؤثرات على الإطارات

وتنتقل القوة الأفقية من قاعدة العمود إلى الأساس عن طريق الاحتكاك بينهما فإذا كانت مقاومة الاحتكاك غير مأمونة انتقلت القوة عن طريق مقاومة مسامير الإرساء للقص .



شكل ١٣ ــ ١١

وتنتقل القوة الأفقية من الأساس إلى التربة بطرق ثلاثة :

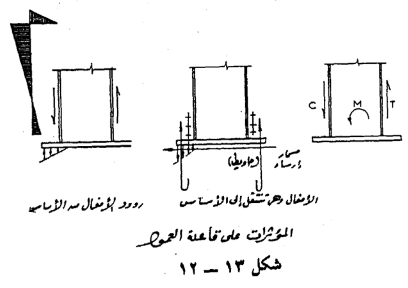
الأول : أسفل الأساس بوصفها قوة قص في التربة وهي ما اصطلح على تسميتها الاحتكاك بين الأساس والتربة .

والثاني : « الاحتكاك » على جانبي الأساس الموازيين لاتجاه القوة .

والثالث : ضغط التربة المقاوم على جانب الأساس العمودي على اتجاه القوة، وجميع هذه القوى المقاومة لا تعمل إلا إذا بدأ الأساس في التحرك إضافة إلى أن الطريقتين الأخيرتين لا يعملان إلا إذا كان الردم قد اعتنى بدكة حول الأساس .

ومن هنا يفضل أن يزود الإطار بشداد يقاوم القوة الأفقية . وقد يكون هذا الشداد في مستوى القاعدة أي يكون من الصلب وعندئذ يجب الاحتياط ضد الصدأ كأن يدهن بالبيتومين المؤكسد ويلف عليه خيش مقطرن . أو يحاط بغلاف من الخرسانة ، وقد يكون الشداد في مستوى رقبة العمود حيث يُعمل من الخرسانة المسلحة ويفضل في هذه الحالة أن يحمّل على عدة مساند (قواعد) لمقاومة الترخيم وما يسببه من تشقق يؤدي إلى صدأ أسياخ التسليح .

وبفرض انتقال القوة الأفقية كلية إلى أسفل الأساس فإنه يصاحبها عزم حني مقداره : $M_F = H . h$. فإذا زودت القاعدة بشداد أمكن افتراض عدم حدوث عزم الحني . ويلاحظ هنا أننا أهملنا ما يحدث من استطالة في الشداد ، نتيجة القوة التي تنتقل إليه وهذه الاستطالة ، وإن كانت إجهاداً ثانوياً ، إلا أنها تعني أن جزءاً من القوة الأفقية لازال يؤثر على القاعدة ، وإن كان هذا الجزء قوة ثانوية ، عادة ما تهمل حين يفترض أن التربة الملاصقة للشداد تقاوم تلك القوة .



المؤثرات على قاعدة العمود

شكل ١٣ ــ ١٢

١٣-٥-٣ جـ : عزم الحني عند القاعدة : يمكن مساواة عزم الحني الذي يؤثر عند قاعدة العمود بقوتين رأسيتين متساويتين متضادتين عند وجهي العمود . كما نفترض أن العزم نفسه قد تحلل إلى قوتين : قوة شد في مسامير الإرساء وقوة ضاغطة عند الطرف الآخر من لوح القاعدة . وقد سبق أن افترضنا أنها تعمل عند

مسمار الإرساء وبذلك ينتقل العزم إلى الأساس حيث يؤثر على التربة . ويتوقف توزيع الجهود على سطح التربة الملامس للقاعدة الخرسانية على قيمة العزم وعلى ما يتعرض له الأساس من أحمال وقوى مضافاً إليها وزن الأساس (وما قد يحمله من أتربة) وعلى ما يتعرض له من عزوم حني أخرى سواء أكانت ناشئة عن أحمال رئيسية و/أو عن أحمال ثانوية .

وقد تكون بعض القوى الرأسية قوى نازعة وقد يكون لعزم الحني تأثير نازع عند أحد طرفي الأساس إذا تغلبت جهود الشد الناشئة عن العزم وعن القوى النازعة على جهود الضغط الناشئة عن الأحمال والقوى الرأسية . ويلاحظ هنا أن عزم الحني عند القاعدة عبارة عن مجموع العزوم : عزم الوثاقة للإطار الناشيء عن القوى الرأسية على الكمرة الأفقية ؛ وعن القوى الرأسية غير المتمركزة على العمود وتشمل ما يؤثر على القاعدة من قوى المرفاع وأوزان الحوائط (ما كان منها محملاً على العمود) ؛ وعن ضغط الريح الأفقي على المستوى الرأسي .

وتؤثر القوتان الرأسيتان اللتان يتحلل إليهما العزم على مسامير الإرساء ويهمنا منها هنا القوة النازعة التي يضاف إليها ما قد تتعرض له القاعدة من قوى فعلية أخرى نازعة حيث ينتظر أن تحدث بالمسامير ناحية تلك القوة استطالة بينما تكون خرسانة الأساس في الجانب الآخر من القاعدة عرضة للإنكماش بتأثير القوى الضاغطة . فإذا أضفنا إلى ذلك ما قد يحدث للوح القاعدة من تشوهات نتيجة هذه القوى نجد أن القاعدة عرضة للدوران .

وتنتقل كل هذه العزوم إلى الأساس حيث يضاف إليها العزم الناشيء عن الرفسة الأفقية للإطار (ما لم يكون مزوداً بشداد) . كما أن المعتاد أن يكون الأساس غير تمركز مع قاعدة العمود (لغرض محاولة أن يكون توزيع الجهود على التربة تحت

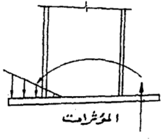
الأساس متناسقاً على قدر الإمكان) وعندئذ يكون لوزن الأساس تأثير على توزيع الجهود على التربة .

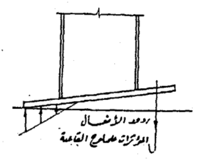
١٣–٥–٣ د : تأثير العزوم على القاعدة : لما كان العزم على القاعدة يتحلل إلى قوة نازعة عند أحد جانبي القاعدة تقاومها مسامير الإرساء التي تصبح معرضة للشد وإلى جهود ضغط على الأساس الخرساني سواء على القاعدة الخرسانية أو على رقبة العمود .

وفي الحديث عن القوة النازعة يجب دراسة جميع القوى المؤثرة على القاعدة سواء أكانت قوى رأسية ضاغطة أم كانت قوى نازعة . أو كانت القوى أفقية وغالباً ما تكون هذه الأخيرة قوى منعكسة مما يعني أن لها دائماً تأثيراً نازعاً عند أحد صفّي مسامير الإرساء وتأثير هذه القوى الأفقية داخل ضمن حساب عزم الحني على القاعدة وإنما نكرره هنا تأكيداً لما لهذه القوة من أهمية في تأثيرها على قاعدة العمود وعلى القاعدة الخرسانية وعلى التربة .

وعلى هذا فنحن ندرس أقصى ما يمكن أن تصل إليه القوة النازعة والتي تحدد ما يلزم من مسامير الإرساء ، مقاسها وعددها .

وتنتقل قوة الشد من القاعدة إلى مسامير الإرساء ويصبح طرف القاعدة هنالك عرضة للتحرك إلى أعلا نتيجة الإجهاد الحادث في مسامير الإرساء . وإذا لم يكن لوح القاعدة جسيئاً فسوف يحدث به إجهاد كما في شكل (١٣–١٣–س) والإدار في اتجاه العزم المؤثر ودار معه أسفل العمود . كما في شكل (١٣–١٣–ص) وقد يمكن التغلب على هذا الدوران بمنع مسامير الإرساء من الاستطالة وذلك بإجهادها مسبقاً بقوة لا تقل عن قوة الشد ، بل يفضل أن تزيد عنها بمقدار ٢٠٪ بصفة معامل أمان .





شكل ١٣ – ١٣

وتجدر ملاحظة أن قوة الشد الناشئة عن العزم تتأثر بما يلي :

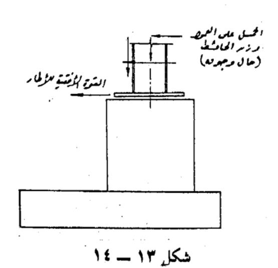
(أ) يضاف إليها أية قوة شد أخرى ناشئة عن الأحمال أو القوى الخارجية النازعة .

(ب) ينقص منها تأثير القوى الضاغطة الناشئة عن الأحمال والقوى الخارجية .

١٣-٥-٣ هـ : تأثير العزوم على الأساس :

- ينتقل عزم الوثاقة (M_F) بأكمله إلى مستوى التأسيس ، بصفة قوتين رأسيتين متساويتين متضادتين افترضنا مسبقاً تأثيرهما عند مواقع مسامير الإرساء .

- تُحدث القوة الأفقية التي تؤثر عند مستوى القاعدة عزم حني M_H على مستوى التأسيس يضاف إلى عزم الوثاقة أو ينقص منه بحسب اتجاه القوة الأفقية .



شكل ١٣ ــ ١٤

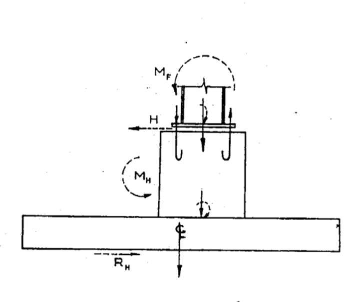
- يضاف تأثير أية أحمال رأسية تنتقل إلى الأساس مباشرة وليس عن طريق العمود . بما في ذلك وزن رقبة العمود ووزن الأساس الخرسانيين .

عندئذ تجمع عزوم الحني التي تعمل في نفس الاتجاه مع مراعاة ما يقابلها من أحمال رأسية وأفقية ثم تحسب الجهود على التربة وكلما كانت تلك الجهود متباينة كلما أدى ذلك إلى تعرض التربة لانضغاط متباين يتبعه دوران الأساس .

وقد يكون جهد التحميل على التربة نازعاً وعندئذ يعاد حساب الجهد بعد فرض إلغاء الجهود النازعة ويؤدي هذا الفرض إلى زيادة جهد التحميل عند الحد الآخر للأساس .

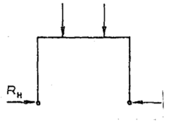
ومن جهة أخرى يمكن زحزحة الأساس بالنسبة للعمود بحيث تعمل عزوم القوى والأحمال الرأسية على مقاومة عزوم الحني الناشئة عن التأثير الإطاري .

شكل ١٣ — ١٥

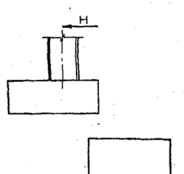


شكل ١٣ — ١٦

ولكثرة المؤثرات التي يتعرض لها الأساس قد يكون من الأوفق ان نلفت ، الانتباه إلى اتجاهات تلك المؤثرات . فمثلاً عند حساب الإطار ذي المفصلين فعند حساب المؤثرات على القاعدة الخرسانية وعلى التربة تنعكس اتجاهات كل المؤثرات التي يطلق عليها اسم ردود الفعل ،



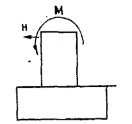
نجد أن القوة الأفقية عند المفصل تتجه إلى الداخل وهذه القوة الأفقية هي رد الفعل عند المفصل .



ولكن عند حساب الأساس تكون هذه القوة قوة فعالة ويكون اتجاهها عكس رد الفعل وقد أسميناها رفسة الإطار .

وكذلك عند حساب الإطار الموثوق ينعكس اتجاه كل من القوة الأفقية وعزم الوثاقة المؤثرين على الإطار عندما يؤثران على القاعدة الخرسانية .

(شكل ١٣ ــ ١٧



وغني عن البيان انعكاس اتجاه القوة الرأسية أيضاً .

شكل ١٣ ــ ١٧

١٣-٦ : حساب مسببات الجهد في الإطارات الجسيئة :

تحل الإطارات الجسيئة ، أي تحسب ، في مختلف عناصرها ، عزوم الحني وقوى القص والقوى العمودية بأيّ من الطرق المتبعة في تحليل المنشآت وفي أي من هذه الطرق يجب – إضافة إلى تحديد الشكل العام للإطار وأبعاده وتباعده – أن تعرف أو تفرض أطوال العناصر ومقطع كل منها . فإذا كان الإطار من مقطع مصمت يكتفى بأن تعرف النسبة بين عزوم البطالة في كل من العناصر . أما في الإنشاء الشبكي فيلزم أن تعرف – إضافة إلى طول كل عضو فيه – مساحة ذلك العضو أو على الأقل النسبة بين مساحات مقاطع الأعضاء – وقد يقتضي الأمر إعادة

الحسابات إذا تبين أن القيم التي فرضت تبعد كثيراً عما يجب أن تكون . ومن هنا يتضح أنه من المفيد أن يكون المصمم قد كون فكرة عن النسب المشار إليها من حل بعض الإطارات المشابهة .

١٣-٧ : الإطـار المنفـرد :

الإطار المنفرد هو أبسط أشكال الإطارات وهو أسهلها حلاً من حيث أن نظامه غير محدد مرة واحدة . ومنذ زمن ليس بالقصير جهزت معادلات لحساب ردود الفعل عند القواعد ولعل أشهرها هو كتاب Klienlogel ومن الواضح أن هذه المعادلات كانت هي الأساس لعمل برامج الحاسبات . ولم يقتصر ذلك الكتاب على الإطار ذي المفصلين ولكنه شمل أنواعاً أخرى من الإطارات . وفيما يلي أمثلة من حل إطار ذي مفصلين معرض لأحمال مختلفة .

١٣-٨ : الإطار ذو المفصلين والكمرة أفقية :

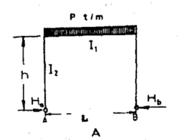
L : طول فتحة (بحر) الإطار — I_1 : عزم عطالة الكمرة

h : ارتفاع العمود عند التقائه بالكمرة — I_2 : عزم عطالة العمود

وباستخدام الحدين لها تمييز

$$K = \frac{I_2\, h}{I_1\, L} \quad , \quad N = 2K + 3$$

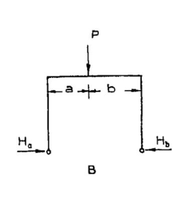
N , K : ليس لها التالين :



$$H_a = H_b = \frac{P L^2}{4 h N}$$

فإذا افترضنا أن $I_1 = \alpha$ بالنسبة إلى I_2

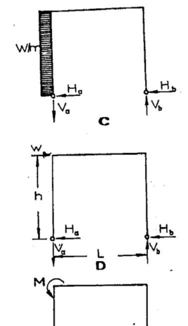
$$H_a = H_b = \frac{P L^2}{12 h}$$



$$H_a = H_b = \frac{3 P a b}{2 h L N}$$

For a = b

$$H_a = H_b = \frac{3 PL}{8 h N}$$



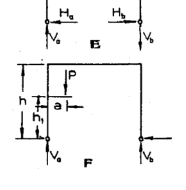
$$H_a = -\frac{wh}{8} \times \frac{11 k + 18}{N}$$

$$H_b = \frac{wh}{8} \times \frac{5 k + 6}{N}$$

$$V_a = V_b = \frac{wh^2}{2 L}$$

$$H_a = H_b = \frac{W}{2}$$

$$V_a = - V_b = \frac{Wh}{L}$$



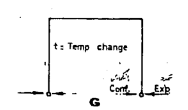
$$H_a = H_b = \frac{-3 M}{2 hN}$$

$$V_a = - V_b = \frac{M}{L}$$

$$H_a = H_b = \frac{3 Pa}{2 Nh}\left(k \left(\frac{h_1^2}{h^2} - 1\right) - 1\right)$$

$$V_a = P \left(1 - \frac{a}{L}\right)$$

$$V_b = P \frac{a}{L}$$



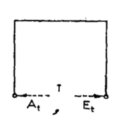
$$H_a = H_b = \pm \frac{3 \alpha t}{N} \times \frac{E I_2}{h^2}$$

$$V_a = V_b = 0 \qquad \alpha = 0.00001$$

$$H_a = H_b = \frac{3\,\Delta\,E_1\,I_2}{h^2\,LN}$$

$$V_a = V_b = 0$$

Lateral a: Displacement Δ
Et : modules of elashcity of fram
H



$$T = H_b \times \frac{N}{Nt}, \text{ where}$$

$$N_t = 2k + 3 + \frac{3}{h^2} \times \frac{E\,I_2}{E_t\,A_t}$$

١٣-٩ : الإطار ذو المفصلين ، المحدب في المنتصف (Gable Frame) :

باستخدام الحدود التالية :

$$K = \frac{I_2\,h}{I_1\,s}$$

$$m = \frac{f}{h}$$

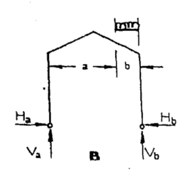
$$N = (k + 3) + m(m + 3)$$

$$H_a = H_b = \frac{PL^2}{64\,h} \times \frac{5m + 8}{N}$$

$$V_a = \frac{pL}{8}, \quad V_b = \frac{3pL}{8}$$

$$H_a = H_b = \frac{Pb^2}{8\,h} \times \frac{2L(3L - 2b) + m(3L^2 - 2b^2)}{L^2\,N}$$

$$V_a = \frac{Pb^2}{2\,L}, \quad V_b = \frac{P_a}{L}$$



$$H_a = H_b = \frac{Pb}{4h} \times \frac{6aL + m(3L^2 - 4b^2)}{L^2 N}$$

$$V_a = \frac{Pb}{L} \quad , V_b = \frac{pa}{b}$$

C

$$H_a = \frac{wh}{16N}\left(5k + 6(m+2)\right)$$

$$H_b = H_a - wh$$

$$V_a = -V_b = \frac{wh^2}{2L}$$

D

$$H_a = \frac{wf}{16} \times \frac{8(k+3) + 5m(m+4)}{N}$$

$$H_b = H_a - wf$$

$$V_a = -V_b = wf \times \frac{(2h+f)}{2L}$$

E

$$H_a = \frac{W}{4} \times \frac{2k + 3(m+2)}{N}$$

$$H_b = H_a - W$$

$$V_a = -V_b = \frac{WH}{L}$$

F

$$H_a = H_b = \frac{3a}{4b} \times (P + p^1)\frac{k(1+m^2) + (m+2)}{N}$$

$$V_a = \frac{p^1 a}{L} + P\left(\frac{L-a}{L}\right)$$

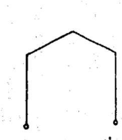
$$V_b = \frac{Pa}{L} + p^1\left(\frac{L-a}{L}\right)$$

Uniform change of temp of t° over entire frame

$= \alpha tL$

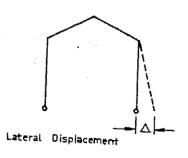
$$H_a = H_b = \pm \frac{3EI\alpha}{2N}$$

$$V_a = V_b = 0$$



$$H_a = H_b = -\frac{3\Delta}{2N} \times \frac{EI_2}{h^2 s}$$

$$V_a = V_b = 0$$



١٣ـ الإطار ذو المفصلين المحدب في المنتصف وله شداد جسيء عند قمتي العمودين $N = 4K + 3$

$$H_a = H_b = \frac{pL^2}{16\,hN}$$

$$T = \frac{pL^2}{16\,h} \times \frac{10\,k + 6 - m}{m\,N}$$

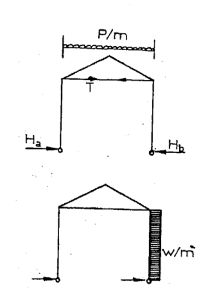
$$V_a = V_b = \frac{pL}{2}$$

$$H_a = wh \times \frac{k + N}{4\,N}$$

$$H_b = wh - H_a$$

$$T = wh\,\frac{(3 + k) + 2\,m\,(k + N)}{8\,Nm}$$

$$V_a = V_b = \frac{wh^2}{2\,L}$$



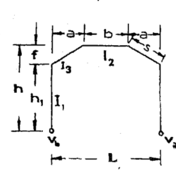
١٣ـ١٠ : الإطار ذو المفصلين والكمرة مرفوعة الوسط :

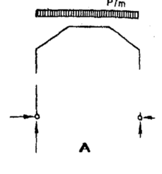
باستخدام الحدود التالية :

$$K_1 = \frac{I_3}{I_1} \times \frac{h_1}{s}$$

$$K_2 = \frac{I_3}{I_2} \times \frac{b}{s}$$

$$\alpha = \frac{a}{L} \cdot \beta = \frac{b}{L} \cdot \eta \frac{h_1}{h}$$





$C = 2 + \eta + 3 k_2$

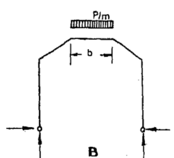
$D = 2\eta (k_1 + 1) + 1$

$E =$

$N = \eta \Delta + C$

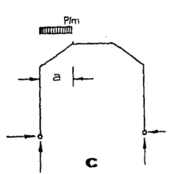
$$H_a = H_b = \frac{p}{2\,Nh} \left(2\,aC\,(a + b) + a^2 (K_1 + 1) + k_2 b^2 \right)$$

$$V_a = V_b = \frac{p}{2}(b + 2\,a)$$



$$H_a = H_b = \frac{pb}{4\,NH} (2\,aC + k_2\,b)$$

$$V_a = V_b = \frac{pb}{2}$$

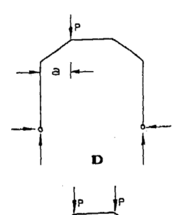


$$H_a = H_b = \frac{pa}{8\,Nh} \left(2\,aC + a\,(\eta + 1) \right)$$

$$V_b = \frac{p\,a^2}{2\,L},\ V_a = Pa - V_b$$

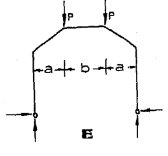
$$H_a = H_b = \frac{PaC}{2\,Nh}$$

$$V_b = \frac{Pa}{L},\ V_a = P - V_b$$

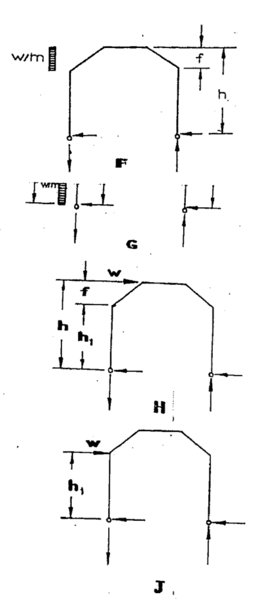


$$H_a = H_b = \frac{PaC}{Nh}$$

$$V_b = V_a = P$$



$$H_b = \frac{wf}{8\,NH} \left(4\,h\,(E + C) + 2\,fC + f\,(\eta + 1) \right)$$



$$H_a = wf - H_b$$

$$V_b = -V_a = \frac{wf}{2L}(2h_1 + f)$$

$$H_b = \frac{wh_2^1}{8Nh}(2C + 2E + \eta k_1)$$

$$H_a = -(Wh_1 - H_b)$$

$$H_b = H_a = \frac{W}{2}$$

$$V_b = -V_a = \frac{Wh}{L}$$

$$H_b = \frac{Wh_1}{2Nh}(E + C)$$

$$H_a = -(W - H_b)$$

$$V_b = -V_a = \frac{Wh_1}{L}$$

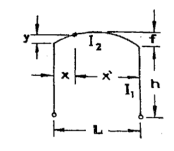
Uniform change of temp t° over the entire frame

$\Delta = \times tL$

$$H_a = H_b = \pm \frac{3E_t I_3}{sh^2 N}$$

E_t = modulus of elashcity

١٣-١١ : الإطار ذو المفصلين والكمرة قطع مكافئ :



$$y = \frac{4f}{L^2} \times x^1$$

$$K = \frac{I_2}{I_1}\frac{h}{L}, \quad m = \frac{f}{L}$$

$$\alpha = \frac{a}{L}, \quad = \overline{N = 5(2k+3) + 4m(5+2m)}$$

$$H_a = H_b = \frac{pL^2}{4h} \times \frac{5 + 4m}{N}$$

$$V_a = V_b = \frac{pL}{2}$$

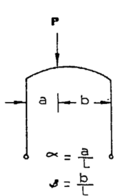
$$H_a = H_b = \frac{pa^2}{4hN}\left(5(3 - 2\alpha) + 2m(5 - 5\alpha^2 + 2\alpha^3)\right)$$

$$V_a = pa(2 - \alpha)^2$$

$$V_b = \frac{pa^2}{2L}$$

$$H_a = H_b = \frac{5\,Pab}{2\,LbN}\left(3 + 2m(1 + \alpha\beta)\right)$$

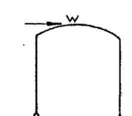
$$V_a = \frac{Pb}{L}, \quad V_b = \frac{Pa}{L}$$



$$H_b = \left(\frac{5\,wh}{8} \times \frac{5k + 6 + 4m}{N}\right) + \left(\frac{5\,W}{2} + \frac{2k + 3 + 2m}{N}\right)$$

$$H_a = wh + W - H_b$$

$$V_a = -V_b = \frac{wh^2}{2L} + \frac{wh}{L}$$



$$H_a = -H_b = \frac{W}{2}$$

$$V_a = -V_b = \frac{N(f + h)}{L}$$

Uniform change of temp of t
over entire frame

$$\Delta' = \alpha\, tL$$

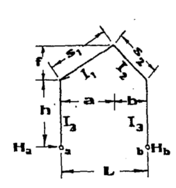
$$H_a = H_b = \pm \frac{15 \quad E_t I_2}{h^2 N}$$ = modulus of elasticity

١٣-١٢ : الإطار ذو المفصلين المسنم غير المتماثل :

$$K_1 = \frac{I_3 S_1}{I_1 h}, K_2 = \frac{I_3 S_2}{I_2 h}$$

$$n = \frac{f}{h}, m = 1 + n$$

$$= \frac{a}{L}, \quad = \frac{b}{L}$$



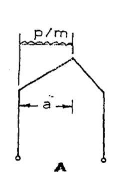
$$C = (k_1 + k_2)(1 + 2m)$$

$$D = 2 + k_2(2 + m)$$

$$E = 2 + k_1(2 + m)$$

$$N = (D + mC + E)$$

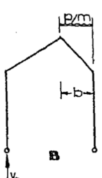
$$= 4 + 2(1 + m + m^2)k_1 + k_2$$



$$H_a = H_b = \frac{pa^2}{4hN}$$

$$\left(2 \quad C + k_1(1 + m)\right)$$

$$V_b = \frac{pa^2}{2L}, V_a = P_a - V_b$$

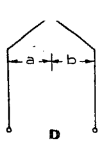


$$H_a = H_b = \frac{pb^2}{4hN}\left(2 \times C + k_2(1 + m)\right)$$

$$V_a = \frac{pb^2}{2L}, V_b = pb - Va$$

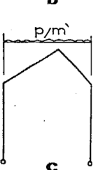
$$H_a = H_b = \frac{P_{ab}\, C}{hNL}$$

$$V_a = \frac{P_b}{L}, V_b = \frac{P_a}{L}$$



$$H_a = H_b = \frac{P}{4\, Nh} \left(\frac{2\, abC}{L} (a + b) + (1 + m)(a^2 k_1 + b^2 k_2) \right)$$

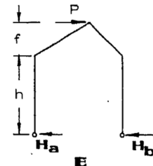
$$V_a = V_b = \frac{pL}{2}$$



$$H_a = - \frac{P}{N} (\times\, m\, C + D)$$

$$H_b = \frac{P}{N} (\quad m\, C + E)$$

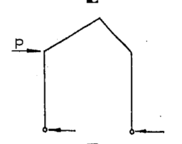
$$V_b = - V_a = \frac{P\,(h + f)}{L}$$



$$H_b = \frac{P}{N} (\quad C + E)$$

$$H_a = - P + H_b$$

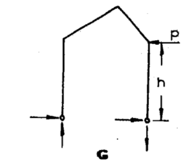
$$V_b = - V_a = \frac{ph}{L}$$



$$H_a = \frac{P}{N} (\times\, C + D)$$

$$H_b = - P + H_a$$

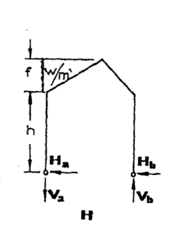
$$V_a = - V_b = \frac{Ph}{L}$$



$$H_b = \frac{wf}{11\,h}\left(hE + \quad C\left(h + \frac{f}{2}\right) + \frac{f\,k_1}{4}(1 + m)\right)$$

$$H_a = -\,(wf - H_b)$$

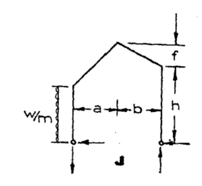
$$V_a = -\,V_b = w\,(h + f_h)\,/\,L$$



$$H_b = \frac{wh}{4\,N}\left(2\,(E + \quad C) + 1\right)$$

$$H_a = -\,(wh - H_b)$$

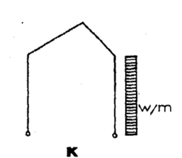
$$V_b = -\,V_a = \frac{wh^2}{2\,L}$$



$$H_b = \frac{wh}{4\,N}\left(2\,(\times C + D) + 1\right)$$

$$H_a = -\,(wh - H_b)$$

$$V_a = -\,V_b = \frac{wh^2}{2\,L}$$



Uniform change of temp of t°
over entire frame

$$\Delta = \times\, t\, L\, m^1$$

$$H_a = H_b = \pm\,\frac{6\,E\,I_3}{N\,h^3}$$

E = modulus of Elasticity

١٣-١٣ : الحساب التقريبي لمسببات الجهد في شبه الإطار :

نبدأ بالإطار ذي المفصلين وفي البند التالي أوضحنا أن الإطار شبه الموثوق نستخلص منه إطاراً ذا مفصلين :

أولاً : الأحمال والقوى الرأسية على الجمالون :

يعتمد الحل التقريبي للإطار على التفاوت الكبير بين عزمي عطالة الكمرة ومقطع العمود الحامل وهذا واضح من النسبة بين عمق الجمالون وعمق مقطع العمود . وبقليل من التجربة يتضح أنه من الممكن اعتبار عزم عطالة الجمالون لا نهائية بالمقارنة بعزم عطالة مقطع العمود ، وبذلك استناداً إلى أي عزم سالب يحدث في طرف الجمالون يكون من الصغر بحيث يمكن إهماله . أي يصبح حساب الجمالون على اعتبار أنه كمرة بسيطة التحمل ، وذلك بالنسبة للأحمال والقوى الرأسية التي تؤثر على الجمالون ، ويتبع ذلك أن قمة العمود لا تتعرض لعزم حني من الأحمال والقوى الرأسية هذا ومن الواضح أن أي عزم سالب قد يتولد عند مرتكزي الجمالون من الأحمال الرأسية يُعنى نقصاً في العزم الموجب في الجمالون من نفس الأحمال .

ولما كان المعتاد أن يستمر مقطع كل من وتري الجمالون بكامل طوله فإن أية قوى تحدث في أعضائه الطرفية ، ناشئة عن العزم السالب – إن وجد – أدنى بكثير من مقدرة تلك الأعضاء . ومن هذا يتضح أن ما فرضناه إن لم يكن صحيحاً تماماً فهو في جانب الأمان .

ثانياً : الأحمال والقوى الأفقية ، الأفقية الجانبية

ويمكن تقسيم ضغط الريح إلى :

(أ) قوة أفقية مركزة W_1 و W_f عند ركن الإطار تساوي ما يتعرض له نصف ارتفاع الجمالون من ضغط (أو مص)

$$W_1 = 0.8\ d.s.w$$

$$W_f = 0.4\ d.s.w$$

حيث s = تقسيط الإطارات

d = عمق الجمالون

w = ضغط الريح الذي تحدده المواصفات

وفي هذه الحالة يتساوى ردا الفعلين الأفقيين عند المفصلين ؛ وليس في هذا تقريب .

(ب) قوة الريح الجانبية : وهنا نعتبر أن ضغط الريح موزع بالتساوي حيث أنه ينتقل إلى الإطار عن طريق المدادات الأفقية الممتدة بين الأعمدة . ويحسب الضغط على كامل ارتفاع الإطار رغم أن جزءاً منها ينتقل مباشرة إلى الأساس أو إلى مرتكز الجمالون .

ويفترض هنا أن رد الفعل الأفقي عند القاعدة المفصلية للعمود المواجه للريح يتراوح بين $\frac{10W}{16}$ و $\frac{11W}{16}$ حيث W هي القيمة الكلية للضغط (W_2 أو W_2)

١٣-١٤ : الحساب التقريبي لمسببات الجهد في الإطار الموثوق جزئياً

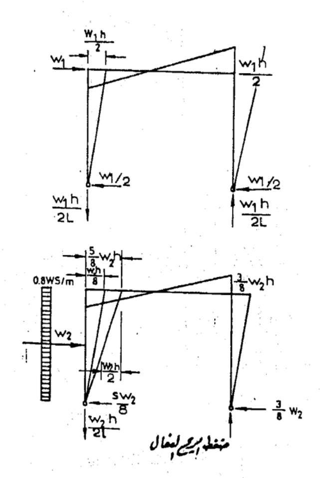
(Partially Fixed Frome)

تتلقى التربة ، تحت الأساس وحوله ، المؤثرات التي يتعرض لها . وباستثناء الصخر ، فمهما اشتدت مقاومة التربة ، فإنها عرضة للانضغاط رأسياً وأفقياً وفي الإطارات لا يكون توزيع الجهود تحت الأساس متساوياً بل إنه أحياناً يتغير بين ضغط ورفع وبذلك تدور القاعدة ، مما يقلل من عزم الحني الذي تتعرض له ، كما أنه بسبب الانضغاط الأفقي تنزاح القاعدة ، وبذلك لا تكون وثاقة القاعدة كاملة .

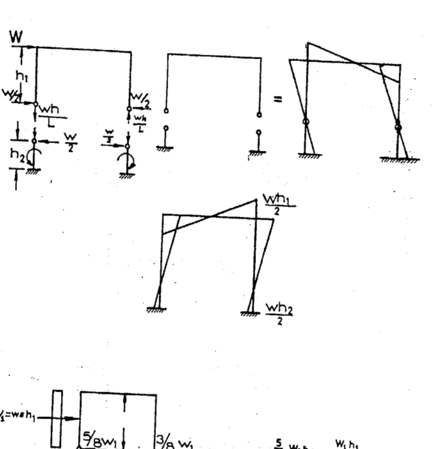
والمعروف أن العضو الطرفي في مجموعة كمرات مستمرة أو في إطار ، إذا كانت نهايته موثوقة تماماً - وكان غير محمل - فإنه يحتوي على مفصل افتراضي (Virtual

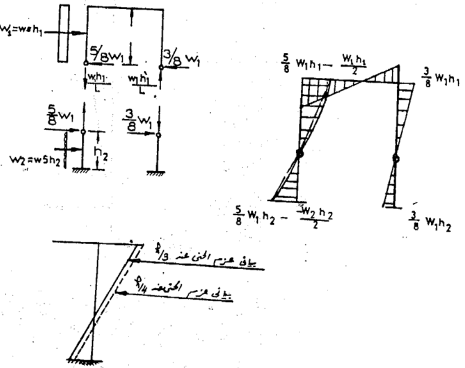
على بعد ثلث طول العضو من الطرف الموثوق . ومن هنا جاء فرض مكان (hinge المفصل في العضو الذي وثاقته غير تامة من أنه بعد يتراوح بين $\frac{h}{4}$ و $\frac{h}{3}$ حيث h هو الطول الحر للعضو الطرفي . إذ كلما قرب موقع المفصل من الطرف الموثوق كلما قل عزم الحني فيه أي ضعفت الوثاقة .

تجدر ملاحظة أنه في نفس الوقت يزداد عزم الحني عند قمة العمود .

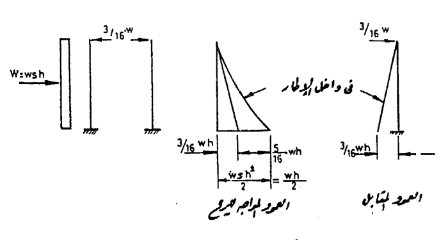


وبافتراض مكان مفصل في كل عمود يصبح الإطار الموثوق جزئيا غير محدد مرة واحدة . ولحل هذا النظام يفصل الإطار ذو المفصلين عن العمودين وبذلك يصبح ذلك الإطار محملاً على عمودين موثوقين من أسفلهما ولكل عمود مفصل في أعلاه . وتنتقل ردود الأفعال من الإطار إلى العمودين بنفس قيمتها ولكن بإشارة معكوسة .


W
h1
W/2
wh
L
w/2
h2
=
wh1
2
wh2
2


W1=w*h1
5/8W1
3/8 W1
w1h1
L
5/8W1
3/8W1
h2
W2=w5h2
5/8 W1h1 − W1h1/2
3/8 W1h1
5/8 W1h2 − W2h2/2
3/8 W1h2

ويكون رسم بياني عزم الانحناء للعمودين كما في شكل (١٣- ١٨) .



شكل ١٣ ــ ١٨

والواضح أن عزوم الحني في عمودي مثل هذا الإطار أكبر بكثير منها في عمودي الإطار اللذين يتصلان بالجمالون اتصالاً وثيقاً ؛ إضافة إلى أن عزم الحني الأكبر يحدث عند القاعدة ، والعزوم عند القاعدة تسبب مشاكل تنفيذية سبق بيانها .

وكذلك بالنسبة للقوة الأفقية المنقولة إلى القاعدة فهي هنا أكبر للعمود المواجه للريح . ومالم يكن مطلوباً أن يكون الوتر السفلي مستقيماً بكامل طوله ، فإن من الأسلم أن يزود الجمالون بركبة عند كل عمود وبذلك تصبح الوصلة جسيئة ، وعندئذ يمكن أن تكون قاعدة العمود مفصلية أو موثوقة جزئياً . (شكل ١٣ ــ ١٩) .

ركبة — ركبة — مفصل مفترض

قاعدة مفصلية — قاعدة موثوقة جزئياً

شكل ١٣ ــ ١٩

ولا ننسى هنا أيضاً أن الإطار يتعرض لريح مقابل ، ففي الإطار ثنائي المفاصل (شكل ١٣ ــ ٢٠

$W_1 = 0.8qsh$ — $W_2 = 0.4qsh$ — H_1 — H_2

$$H_1 = \frac{5}{8} W_1 + \frac{3}{8} W_2$$

$$H_2 = \frac{3}{8} W_1 + \frac{5}{8} W_2$$

شكل ١٣ ــ ٢٠

١٣-١٥ : جمل من طراز Fink يرتكز على قمتي عمودين :

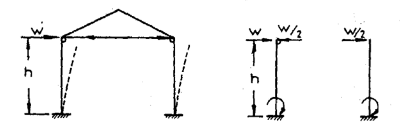
هنا تعتبر نقطة الارتكاز مفصّلاً وبذلك لابد أن يكون العمودان موثوقين عند قاعدتيهما وعندئذ يصبح الإطار غير محدد مرة واحدة ، ويعتبر الجمالون عضو ضغط يربط قمتي العمودين اللذين يصبحان على هيئة كابولي مثبت عند القاعدة ومستند من أعلاه .

وحل مثل هذا الإطار ميسور .

١ – بالنسبة للأحمال الرأسية فإن الجمل يعتبر محدداً استاتيكياً .

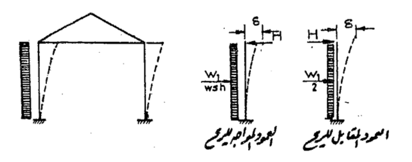
٢ – بالنسبة للقوى الأفقية ؛ بإهمال ماقد يحدث من انضغاط في الوتر السفلي للجمالون إذ هو أصلاً معرض سد :

(أ) قوة أفقية مركزة عند أعلا العمود (ركن الإطار) طالما كان العمودان متماثلين في القطع وفي الطول ، فإن القوة تقسم بالتساوي بينهما وتصبح



قوة الضغط في الوتر السفلي مساوية نصف القوة المؤثرة ويصبح عزم الحني الأكبر عند قاعدة كل عمود مساوياً $h \cdot \frac{W}{2}$

(ب) قوة أفقية (ضغط الريح) موزعة بالتساوي بكامل ارتفاع العمود : يحسب كل عمود باعتباره كابولا مؤثراً عليه بقوة عند مرتكز الجمالون . وبمساواة الانزياح العرضي لقمتي العمودين :



الانزياح العرضي لقوة موزعة بالتساوي $\delta_1 = \frac{Wl^3}{8EI}$

الانزياح العرضي لقوة مركزة عند الطرف الحر $\delta_2 = \frac{Hl^3}{3EI}$

وبمساواة الانزياح العرضي لقمتي العمودين

$$\frac{W l^3}{8EI} - \frac{H l^3}{3FI} = \frac{W l^3}{10EI} + \frac{H l^3}{3EI}$$

ومنها $H = \frac{9}{32} W$

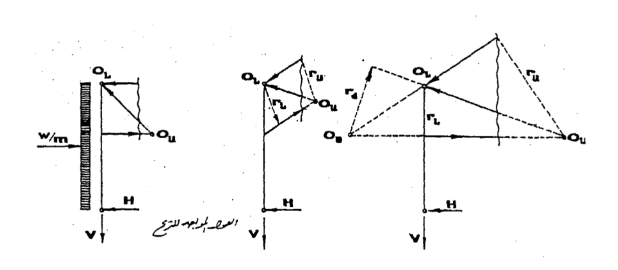
ملحوظة : لازال العمود آن هنا لهما نفس المقطع (I) ونفس الطول (l) كما أن عزم الحني الأكبر لازال عند قاعدة كل عمود .

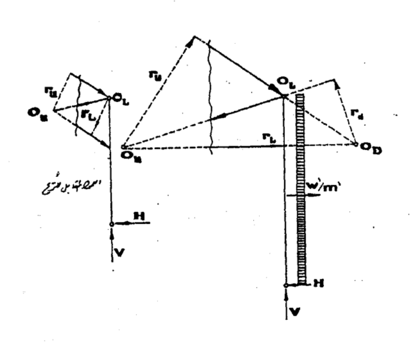
١٣-١٤ : حساب تأثير القوى الأفقية على الجمالون وعلى العمود :

سندرس هنا الإطار ذا المفصلين ، سواء أكان المفصلان أصليان أم كانا مفترضين لإطار شبه موثوق . وبعد حساب ردي الفعل الأفقيين يصبح الإطار محدداً استاتيكياً ، ويتبع ذلك حساب ردي الفعل الرأسيين عند المفصلين .

عندئذ يُفصل كل من العمودين بما يجاورهما من أعضاء الجمالون عن الإطار

ويوضح على العمود ضغط الريح ، ولا بأس من جعله منتظماً بكامل ارتفاع العمود .



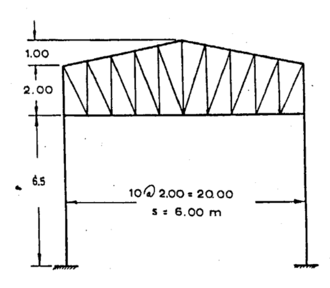


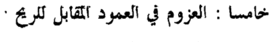
ولحساب القوى في أعضاء الجمالون : بطريقة العزوم

- للوترين : تؤخذ العزوم حول تقابل الوتر والقطر .
- للقطـر : إذا أمكن تلافي القطرين تؤخذ العزوم حول نقطة تقابلهما فإذا لم يتيسر ذلك كأن كان الوتران متوازيين أو كان تقابلهما بعيداً نلجأ إلى التحليل الرأسي لجميع القوى .

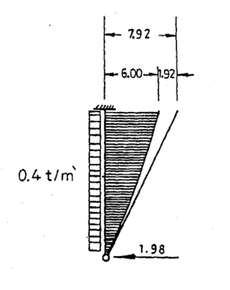
ويبدو أن من المفيد تقديم مثال :

المطلوب حساب مسببات الجهد للإطار الموثوق جزئياً الموضح بالرسم والناشئة عن ضغط الريح الذي شدته ١٠٠ كج/م٢ على السطح الرأسي .





خامسا : العزوم في العمود المقابل للريح .



العزم عند الوتر السفلي :

$$M_1^1 = 1.98 - .24 \times \frac{4.0^2}{2}$$

(الشد في الخارج)

$$= 7.92 - 1.92 = 6.0 \text{ tm}$$

العزم عند القاعدة :

$$M_2^1 = 1.98 \times 2.5 + .24 \times \frac{2.5^2}{2}$$

(الشد في الداخل)

$$= 4.95 + .75 = 5.70 \text{ tm}$$

تنبيه : من حيث أن ضغط الريح هو قوة منعكسة فإن العزوم تتناوب على العمودين وعلى القاعدتين كما ينعكس موقع الشد والضغط على جانبي العمود ، وبذلك يجب أن تكون القاعدة متماثلة حول محور العمود في مستوى الإطار .

ضغط الريح على جانب المنشأ المواجه للريح $W = 6.00 \times 100 \times 0.8 = 480 \text{ Kg/m}^1$

المقابل للريح $W_1 = 6.00 \times 100 \times 0.8 = 480 \text{ Kg/m}^1$

لما كان سطح المبنى أفقياً (تقريباً) فلا بأس من اهمال الريح الماص على السطح نفرض وجود مفصل على ارتفاع ٢٫٥٠ م من قاعدة كل عمود .

أولاً : لإيجاد ردود الأفعال نبدأ بالإطار بأكمله مع فصل الجزء الأسفل من كل عمود :

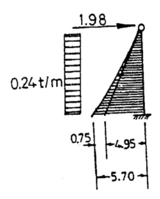
$$W_1 = .480 \times 6.0 = 2.88 \text{ t}$$

$$W_2 = .24 \times 6.0 = 1.44 \text{ t}$$

$$H_1 = \frac{5}{8} \times 2.88 + \frac{3}{8} \times 1.44 \qquad = 2.34 \text{ t}$$

$$H_2 = \frac{5}{8} \times 2.88 + \frac{3}{8} \times 1.44 \qquad = 1.98 \text{ t}$$

$V = \pm (2.88 + 1.44) \times 3 - 20 = 0.648\ t$



ثانياً : مسببات الجهد ، العمود المواجه للريح :

– القوة في الوتر السفلي – العزوم حول O_2 :

$$= \left(2.34 \times 6 - .48 \times \frac{6^2}{2} \right)$$

$$\div 2.0 = 2.70\ t\ (T)$$

– القوة في الوتر العلوي – العزوم حول O_u :

$$(.48 \times 6 \times 1.0 + .648 \times 2.0 - 2.34 \times 4)$$

$$\div 2.19 = 2.37\ t\ (C)$$

– القوة في القطر الأول ، العزوم حول O_D :

$$(2.88 \times 1.0 - 2.34 \times 4.0 - .648 \times 20.00)$$

$$\div 15.6 = 1.25\ t\ (C)$$

ثالثاً : مسببات الجهد ، العمود المقابل للريح

– القوة في الوتر السفلي ، العزوم حول O^1_L :

$$= (1.98 \times 6 - 1.44 \times 3) \div 2.0 = 3.78\ t\ (C)$$

– القوة في الوتر العلوي ، العزوم حول O^1_u :

$= (1.98 \times 4 - 1.44 \times 1.0 - .648 \times 2)$

$\div 219 = 2.37 \text{ t (C)}$

– القوة في القطر الأول ، العزوم حول O_D^1 : ه

$= (1.98 \times 4 + .648 \times 20.0 - 1.44 \times 1.0)$

$\div 15.6 = 1.25 \text{ t (T)}$

رابعاً : العزوم في العمود المواجه للريح :

العزم عند الوتر السفلي :

$$M_1 = 2.34 \times 4 - \frac{.48 \times 4.0^2}{2}$$

$= 9.36 - 3.84 = 5.52 \text{ tm}$ (الشد في الداخل)

العزم عند القاعدة :

$$M_2 = 2.34 + \frac{.48 \times 2.5^2}{2}$$

$= 5.85 + 1.50 = 7.35 \text{ tm}$ (الشد في الخارج)

فهـــــرس